I 4467

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista
DE
FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL V

1

IANUARIE 1968

10380.

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR 23, RAION 16 FEBRUARIE BUCUREȘTI 45, TELEFON 16.42.86

SUMAR

Seria A nr. 1/1968

V. T. Mărculeţiu I. Constantinescu

Regulile căldurilor atomice şi moleculare 1

M. Sorohan

Pulverizarea catodică 4

E. Bogdan

Sistemul periodic al elementelor factor de educaţie ştiinţifică 12

M. Mişarca

Metodica experienţelor demonstrative şi a lucrărilor de laborator la fizică în şcoala medie 20

I. M. Marinescu

Asupra analogiilor mecanooptice Hamilton—Schrödinger 28

A. Orănescu

Teorema torsorului pentru calculul efectelor dinamice ale acceleraţiilor de ordinul al doilea 38

★

Poşta redacţiei . . . . . .

COMITETUL DE REDACŢIE

Ion Agîrbiceanu, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Teodor Bohăţiel,** asist. univ. — redactor; **Simion Bulgarea,** prof.; **Maria Codreanu,** prof; **Nicolae Gherbanovschi,** asist. univ. — redactor **Nicolae Martalogu,** conf. univ. **Eleonora Mihul,** cercetător; **Ion C. Moisil,** conf. univ. **Alice Negoescu,** prof. **Ion C. Petrea** conf. univ. **Victor Sahini,** prof. univ. (m.c. Acad. Republicii Socialiste România). Redactor responsabil: **Constantin D. Albu,** lector univ.

BIBLIOTECA CENTRALĂ
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A

Volumul V, nr. 1 ianuarie 1968

REGULILE CĂLDURILOR ATOMICE ŞI MOLECULARE

de V. T. MĂRCULEŢIU şi I. CONSTANTINESCU

regula Dulong — Petit, 1819
„ Neumann — Kapp, 1831
„ Woestyn — Joule, 1844
„ Delaroche — Bérard, 1813

1. Regula Dulong — Petit (1819)

Căldura specifică a elementelor chimice variază cu temperatura, în sensul că este practic nulă la 0°K, creşte apoi repede, tinzînd spre o limită odată cu creşterea temperaturii; limita maximă este atinsă la majoritatea elementelor în jurul temperaturii obişnuite (J. Perrin).

Căldura specifică a elementelor chimice scade odată cu creşterea masei atomice — aceasta fiind o regulă generală în sistemul periodic.

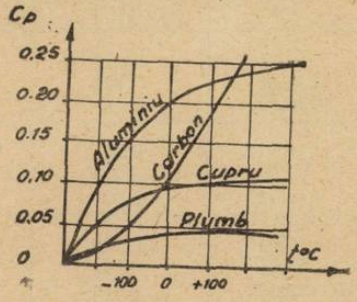


Fig. 1 Variaţia căldurii specifice cu temperatura

Regula Dulong — Petit stabileşte că produsul dintre căldura specifică şi masa atomică a elementelor chimice este aproximativ constant (6,4) şi independent de natura elementului. (Produsul poartă numele de căldură atomică şi reprezintă cantitatea de căldură necesară unui atom gram dintr-un element, pentru a-şi ridica temperatura cu 1°C; se exprimă în cal/at. gr., °C).

După J. Perrin, regula se mai poate enunţa: „pentru orice element chimic în stare solidă, produsul dintre masa atomică şi căldura specifică, nul la 0°K, creşte cu temperatura, tinzînd spre o limită ($\simeq$ 6,4), atinsă mai repede sau mai încet, după natura elementului".

Regula Dulong-Petit se aplică mai exact elementelor în stare solidă şi cu masa atomică mai mare ca 35. Anomaliile prezentate de unele elemente cu mase atomice mai mici ca 35 (B, Cdiamant, ş. a.) tind să dispară la temperaturi mai ridicate.

În general, metalele se supun regulii Dulong-Petit.

Această regulă are un caracter aproximativ şi foloseşte — între altele — la determinarea prin calcul a maselor atomice aproximative ale elementelor cărora li se cunosc căldurile specifice.

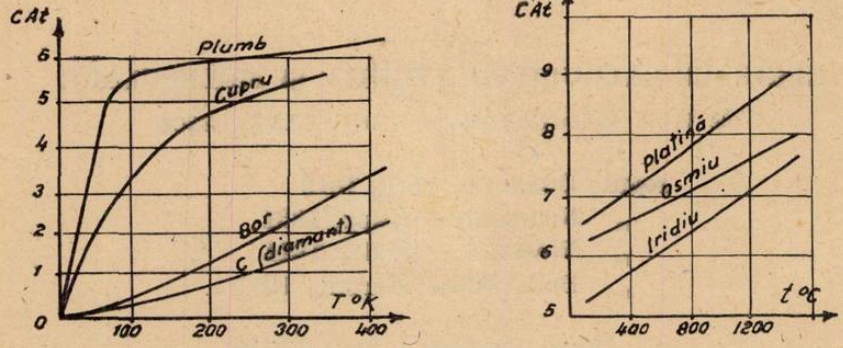


Fig. 2—3 Variaţia căldurii atomice cu temperatura.

Tabela 1

Căldura atomică a unor elemente.

Grupa	elementul	A	Cp	CA t	°C
I. A.	Li	6,93	0,85	5,89	20
	Na	22,98	0,288	6,61	20
	K	39,1	0,177	6,92	20
II. A.	Be	9,01	0,418	3,76	20
	Mg	24,31	0,146	5,98	20
	Ca	40,08	0,155	6,21	20
III.A.	B	10,81	0,25	2,7	20
	Al	26,98	0,214	5,77	20
	Ga	69,72	0,09	7,27	20
IV.A.	C	12,01	0,169	2,029	20
	Si.	28,08	0,168	4,717	20
	Ge	72,59	0,074	5,37	20
V. A.	P	30,97	0,189	5,85	9
	As.	74,92	0,078	5,89	20
	Sb.	121,75	0,049	6,03	20
VI. A.	S	15,99	0,172	5,50	20
	Se	78,96	0,090	7,10	0
	Te	127,6	0,048	6,12	
VIII.	Fe	55,84	0,108	6,03	20
	Co	58,93	0,100	5,89	20
	Ni	58,71	0,106	6,25	20
I. B.	Cu	63,54	0,091	5,81	20
	Ag	107,87	0,055	6,03	20
	Au	196,96	0,030	6,08	20
II.B.	Zn	63,57	0,092	6,04	20
	Cd	112,40	0,055	6,20	20
	Hg	200,59	0,033	6,75	—43

2. Regula Neumann — Kopp (1831)

Regula Neumann — Kopp completează regula Dulong-Petit şi are de asemenea, un caracter aproximativ.

Această regulă se referă la căldurile moleculare ale combinaţiilor de acelaşi tip ale elementelor chimice.

Regula Neumann-Kopp se aplică numai combinaţiilor solide ale metalelor, de tipul : Me_xO_y, $MeHal_x$, Me_xS_y, $Me_x(SO_4)_y$ etc.

Regula stabileşte că :

„căldura moleculară a combinaţiilor solide ale metalelor, care au formulă chimică analogă, are aproximativ aceeaşi valoare".

sau :

„căldura moleculară a combinaţiilor solide ale metalelor, de acelaşi tip şi de formulă chimică analogă, este aproximativ aceeaşi, indiferent de natura metalului".

Exemple.

a. Oxizi de tipul MeO :

Cu O	10,09
Zn O	9,62
Ca O	10,3

b. Oxizi de tipul Me_2O_3 :

Cr_2O_3	28,38
Fe_2O_3	25,4
Mn_2O_3	24,32
Sb_2O_3	24,23

c Cloruri de tipul Me Cl_2 :

Ca Cl_2	18,2
Mn Cl_2	17,7
Pb Cl_2	18,35
Zn Cl_2	16,1
Ba Cl_2	18,6

d. Ioduri de tipul Me I :

Cs I	12,4
Cu I	12,92
K I	12,3
Na I	12,3
Rb I	12,4

e. Sulfuri de tipul MeS :

Co S	11,33
NiS	11,33
ZnS	11,2
Cu S	11,43
Pb S	11,83

f. Sulfaţi de tipul Me SO_4 :

Ba SO_4	26,3
Sr SO_4	26,2
Mg SO_4	27,1
Pb SO_4	26,4

3. Regula Woestyn — Joule (1844)

Această regulă completează de asemenea regula Dulong-Petit şi are un caracter aproximativ.

Enunţ :

„Căldura moleculară a unei combinaţii solide, este egală cu suma căldurilor atomice ale elementelor componente, luate în aceeaşi stare".

---

căldura moleculară (cal/mol, °C) reprezintă căldura necesară unui mol dintr-o combinaţie pentru a-i ridica temperatura cu 1°C.

Exemple:

Cu S	5,86 + 5,63	= 11,49	față de	11,43	(experimental)
Na I	6,79 + 6,65	= 13,32	„	„ 12,3	„
Cu O	5,86 + 4,00	= 9,86	„	„ 10,09	„
Pb SO_4	6,39 + 5,63 + 16	= 29	„	„ 26,3	„
Ni S	6,16 + 5,63	= 11,79	„	„ 11,6	„

Această regulă are de asemenea un caracter aproximativ şi se referă la căldura moleculară a gazelor.

Enunţ:

„căldura moleculară, la presiunea constantă, este aproximativ aceeaşi pentru toate elementele în stare gazoasă".

După natura gazului distingem:

a) Pentru gazele monoatomice (He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn) căldura moleculară la volum constant, este aproximativ constantă şi egală cu 3.

Exemple:

Ar $C_v = 2,98$
Ne $C_v = 2,98$

La presiune constantă, căldura moleculară este aproximativ egală cu 5. Exemplu:

Ar $C_p = 5,00$ la $t = 17,8°C$

b) Pentru gazele biatomice (H_2, O_2, F_2, Cl_2), căldura moleculară la volum constant, este aproximativ constantă şi egală cu 5. Exemplu:

H_2	$C_v = 4,82$;	N_2	$C_v = 4,97$	la $t = 0°C$
O_2	$C_v = 5,00$;	Cl_2	$C_v = 5,97$	

La presiune constantă, căldura moleculară este aproximativ egală cu 7. Exemplu:

Aer	$C_p = 6,978$	$t = 19,5°C$
O_2	$C_p = 6,989$	$t = 29,4°C$
N_2	$C_p = 6,940$	$t = 31,4°C$

Pentru gazele mono şi biatomice, diferenţa dintre căldurile moleculare, la presiune constantă respectiv la volum constant, este egală cu 2.

c) Pentru gazele compuse (de ex. HCl) care iau naştere fără contracţie de volum, căldura moleculară este egală cu a gazelor simple, luate în aceleaşi condiţii de temperatură şi presiune. Exemple:

HCl	$C_v = 4,97$	$t = 0°C$;	*CO*	$C_v = 4,97$	$t = 0°C$
	$C_v = 5,00$	$t = 20°T°C$;		$C_v = 5,00$	$t = 100°C$

PULVERIZAREA CATODICĂ

SOROHAN MARDARIE Lect. Univ. Iaşi

Studiind fenomenele ce se petrec într-o descărcare luminiscentă, Grove (1852) şi Plücker (1858) au observat că pe pereţii tubului de descărcare, mai ales în vecinătatea catodului, se depune un strat foarte fin

constituit din aceleași metal ca și catodul. Acest strat se formează datorită împrăștierii, în toate direcțiile, a unor particule fine care se desprind din catod și se depun pe toate obiectele întîlnite în cale.

Fenomenul, cunoscut sub denumirea de pulverizare catodică, prezintă o deosebită importanță practică și a necesitat numeroase studii experimentale și teoretice pentru a stabili legile macroscopice care îl guvernează și pentru a explica, parțial pînă în prezent, mecanismul proceselor atomice care au loc la suprafața catodului.

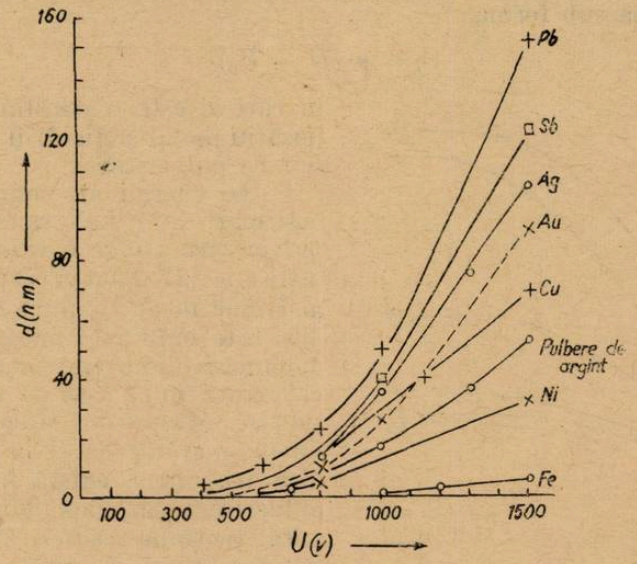


Fig. 1 — Dependența de căderea catodică a grosimii stratului pulverizat în hidrogen, cu un curent de 50 μA, pentru diferite metale [1].

Rezultatele experimentale, stabilite în mare parte de către Günther Schulze, Mippel și Blechschmidt, au dat posibilitatea formulării unor constatări cărora li se atribuie uneori caracterul de legi [1]. Astfel s-a constatat că particulele pulverizate pe suprafața catodului se împrăștie în toate direcțiile, urmînd traectorii rectilinii, dacă presiunea gazului este redusă și căderea catodică destul de mare. Pe măsură ce crește presiunea și scade căderea catodică, mișcarea particulelor desprinse din catod capătă caracterul unei mișcări de difuzie și, ca urmare, o parte însemnată dintre aceste particule se întorc pe catod. Deci pe măsură ce crește presiunea pulverizarea catodică scade în intensitate, dacă celelalte condiții rămîn neschimbate.

Dependența pulverizării catodice de valoarea căderii catodice de potențialul, pentru diferite metale, este arătată în figura 1. Pe abscisă s-a reprezentat căderea catodică în volți, iar pe ordonată grosimea stratului de metal pulverizat, pentru o densitate de curent dată, în cazul unei descărcări în hidrogen. Cantitatea de metal pulverizat, ca și grosimea stratului depus în aceleași condiții pentru fiecare metal, este proporțională cu randamentul de pulverizare η, denumit uneori și coeficient de pulverizare.

Acest randament se definește ca numărul mediu de atomi pulverizați de către un ion incident.

$$\eta = \frac{\text{nr. atomi pulverizați}}{\text{nr. ioni incidenți}} \qquad (1)$$

Se observă că toate curbele din figura 1 devin drepte pentru căderi catodice anormale, aproximativ mai mari decît $U_0 = 500$ V. În acest domeniu dependența randamentului de pulverizare η de căderea catodică poate fi scrisă sub forma

$$\eta = a\,(U - U_0) \qquad (2)$$

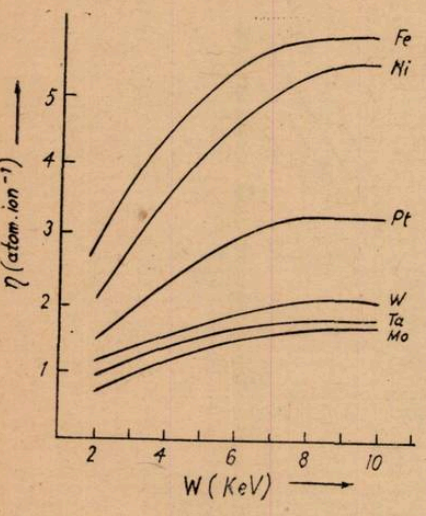


Fig. 2. — Dependența randamentului de pulverizare de energia ionilor de cesiu incidenți, la energii mari și pentru diferite metale [2].

în care a este o constantă specifică fiecărui metal și fiecărui gaz în care se face pulverizarea.

La energii ale ionilor incidenți mai mari de 7 keV randamentul de pulverizare atinge o valoare de saturație (fig. 2). Pentru căderi catodice mai mici decît U_0 pulverizarea catodică este mult mai mică, astfel încît depunerea unui strat metalic poate fi observată după zeci de ore de funcționare. Măsurători precise de mare finețe au arătat că și la căderi catodice mai mici există fenomenul de pulverizare catodică, dar sub o anumită tensiune critică U_{rc}, specifică fiecărui metal și cuprinsă în majoritatea cazurilor între 50 V și 150 V, fenomenul nu mai apare.

Creșterea intensității curentului prin tubul de descărcare produce o creștere proporțională a pulverizării catodice și, în cazul unei căderi catodice anormale, cantitatea de metal pulverizat este proporțională cu pătratul densității de curent pe catod, celelalte condiții rămînînd neschimbate.

Pulverizarea catodică este cu atît mai mare cu cît masa ionilor care lovesc catodul este mai mare. De exemplu în argon pulverizarea este de șase ori mai intensă decît în hidrogen.

Aceste constatări sînt valabile numai în prima aproximație deoarece pulverizabilitatea unui metal depinde mult de starea și puritatea suprafeței catodului și de puritatea gazului. Dacă pulverizarea se face în oxigen, hidrogen sau azot pot apare reacții chimice care duc la nerespectarea cantitativă a legilor amintite mai sus. Acest fenomen de pulverizare chimică se manifestă foarte puternic în cazul pulverizării metalelor Sb, Bi și As în hidrogen. Din aceste cauze așezarea metalelor într-o ordine crescîndă a pulverizabilității lor (tabl. 1) este doar orientativă și depinde mult de gazul în care se face pulverizarea.

Pe cale spectroscopică s-a stabilit că particulele de metal părăsesc catodul sub formă de atomi neutri cu o viteză medie a mișcării lor cores-

Tabeloul nr. 1

Cantitatea de substanță M pulverizată în timp de o oră, în atmosferă de hidrogen, cu un curent de un amper, pentru diferite metale [1]

Metalul	M(mg)	Metalul	M(mg)	Metalul	M(mg)	Metalul	M(mg)
Mg	9	Mn	38	Fe	68	Au	460
Ta	16	Mo	56	Sn	196	Ag	740
Cr	27	Co	56	C	262	As	1 100
Al	29	W	57	Cu	300	Te	1 200
Cd	32	Ni	65	Zn	340	Bi	1 470

punzătoare unei temperaturi de aproximativ 1000°C. Evident, această viteză depinde mult de condițiile în care se face pulverizarea.

Alte experiențe, și acestea folosind drept catod tot metale policristaline, au arătat că numărul de particule metalice care părăsesc catodul sub diverse unghiuri φ, în raport cu normala, este proporțional cu cos φ, ceea ce corespunde unui fenomen statistic, haotic. Deci se poate presupune existența unei evaporări de pe suprafața catodului.

În cazul aliajelor metalice fenomenul de pulverizare catodică se complică foarte mult. În unele cazuri, cum este cel al aliajului Ag-Cu sau Fe-Ni, se observă că fiecare metal component se pulverizează independent [3, 4]. În alte cazuri, mici impurități influențează mult pulverizabilitatea metalului principal, reducînd-o sau mărind-o. De exemplu un adaos de 10% (procentaj atomic) Mg în Ag reduce aproape complet pulverizabilitatea argintului [1].

Diferitele încercări de a explica procesele atomice care au loc la catod în timpul pulverizării au presupus că fenomenul este de natură mecanică, chimică sau termică. Dintre toate, teoria lui Hippel [5] a fost cea mai apropiată de realitate. El a presupus că ionul de gaz, ajungînd pe suprafața metalului, cedează energia sa unui număr de atomi și ca rezultat, pentru un timp foarte scurt, se produce o încălzire locală puternică suficientă pentru evaporarea metalului. Această teorie explică o parte dintre constatările experimentale, cum ar fi legea consinusului cu privire la distribuția în spațiu a atomilor pulverizați, dar nu poate explica de exemplu, proporționalitatea dintre randamentul de pulverizare η și rădăcina pătrată a energiei ionilor incidenți.

Atît această constatare experimentală cît și celelalte, amintite mai sus, pot fi explicate prin teoria lui Keywell [6], care presupune că procesul de pulverizare se produce în modul următor. Ionii incidenți pătrund în rețeaua cristalină a metalului și produc deplasarea unor atomi care, la rîndul lor, produc deplasarea altora și așa mai departe. Unii dintre atomi se vor deplasa spre suprafață și vor putea părăsi metalul ca atomi pulverizați. Teoria lui Keywell a fost verificată experimental de către Iurașova [7], care a studiat adîncirea granițelor dintre cristalele cuprului tehnic în urma corodării suprafeței prin bombardamentul ionic. Cu toate acestea rezultatele experiemntale ulterioare au arătat că teoria lui Keywell necesită completări esențiale pentru a putea explica toate constatările experimentale.

Wehner [8], folosind drept catod un monocristal metalic pe care l-a bombardat cu ioni de mercur avînd energii între 40 eV și 300 eV, a observat

că, pe un ecran așezat în apropierea probei, metalul pulverizat se depune sub forma unor pete dispuse simetric, fără să se respecte legea cosinusului (fig. 3). Această lege fiind stabilită pentru un catod policristalin. Poziția acestor pete și cantitatea de metal depus arată că ele corespund anumitor direcții în monocristalul de pe care s-a făcut pulverizarea. Tot Wehner observă că erodarea suprafeței se face preferențial în funcție de direcția cristalografică în monocristal.

În aceeași lucrare Wehner dă, pentru energia de prag Wo corespunzătoare tensiunii critice U_{cr} sub care nu mai are loc fenomenul de pulverizare, o formulă empirică ce cuprinde în primul rînd greutatea atomică a ionului metalic și căldura latentă de sublimare a metalului pulverizat. Concordanța dintre teorie și experiență este mulțumitoare (tabl. 2), dar aceasta nu contribuie cu nimic la explicarea fenomenelor observate la pulverizarea de pe monocristal. Pentru explicarea acestor fenomene Wehner consideră că are mare importanță mecanismul prin care se transmite energia și momentul cinetic de la ion la atom și de la un atom la altul. El explică pulverizarea preferențială prin existența unui proces de focalizare prin care se transmite energia în interiorul metalului.

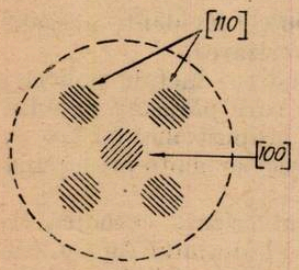


Fig. 3. — Aspectele depozitului metalic pe un ecran situat la 7 — 10 mm. de fața (100) a unui monocristal de Cu bombardat cu ioni de Kr accelerați cu un potențial de 4 000 V [7].

Sub impulsul inițial al ionului incident se produce o ciocnire între atomii metalului, fără producere de defecte, energia transmițîndu-se de la atom la atom, fără pierderi prea mari, pe o direcție cristalografică ce prezintă o împachetare mai densă a atomilor.

Teoria acestui fenomen a fost dezvoltată de Silsbee [9] în cazul general al iradierii corpului solid cu particule grele. Focalizarea propagării energiei de-a lungul unui șir de atomi poate fi explicată, principal, în modul următor [10]. Să considerăm cazul focalizării de-a lungul unui șir de atomi pe care să-i asimilăm cu niște sfere de rază R situate la distanțe D (fig. 4). Să presupunem că prima sferă capătă un impuls în direcția B_1 și

Tabloul nr. 2

Energia de prag Wo în eV, pentru diferite metale, calculată pentru diverse gaze și măsurată pentru vapori de mercur [8]

Metal \ Ion	He	Ne	Ar	Kr	Xe	Hg	Hg (măsurat)
Mo	410	110	76	63	64	72	80—100
Co	285	89	69	69	79	96	80—100
W	1 037	245	147	100	89	87	80—100
Ni	266	85	66	66	75	92	70— 90
Fe	205	66	53	53	61	75	60— 70
Cu	244	75	57	56	62	74	50— 70
Au	590	138	82	56	51	46	40— 50
Ag	275	72	48	39	38	43	40— 50
Pd	324	85	57	46	46	50	50— 80
Pt	850	198	118	79	69	67	70— 90

se ciocneşte în punctul P cu sfera alăturată, care primeşte un impuls în direcţia B_2. Din triunghiul $O\ P\ N$, între unghiurile B_1 şi B_2, se obţine relaţia

$$\sin \beta_2 = \sin \beta_1 (\alpha \cos \beta_1 - \sqrt{1 - \alpha^2 \sin^2 \beta_1}) \qquad (3)$$

în care $\alpha = \frac{D}{2R}$. Se poate observa uşor că în cazul cînd $\alpha < 1$ rezultă $\beta_2 < \beta_1$ şi acest unghi descreşte ca mărime după fiecare ciocnire, pînă cînd mişcarea se efectuează în lungul lanţului de atomi. Prin acest mecanism se poate cheltui o cantitate apreciabilă de energie, transmiţîndu-se parţial

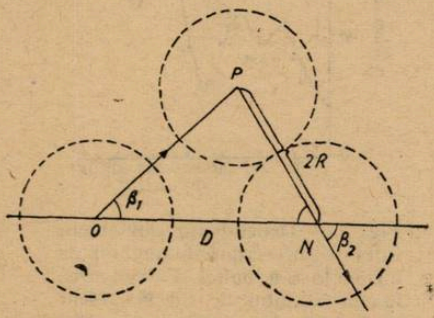


Fig. 4. — Prezentarea schematică a unei ciocniri urmată de focalizare, atomii fiind consideraţi sfere de rază R [10].

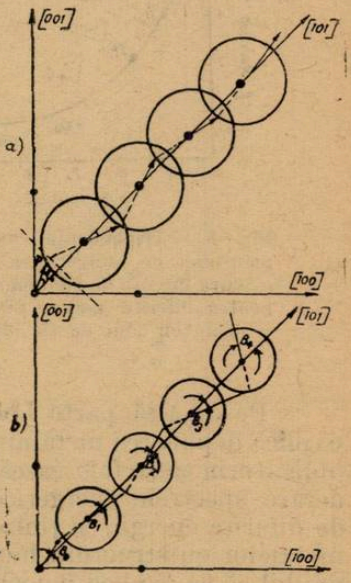


Fig. 5. — Ilustrarea schematică pentru influenţa ce o are distanţa dintre atomi pentru apariţia procesului de focalizare (a) sau de îngrămădire (b) [10].

de la un atom la altul, fără să se producă perechi gol-atom interstiţial. Dacă în lanţul de atomi, de-a lungul căruia se produce fenomenul de focalizare, nu există nici un defect, propagarea energiei ajunge la suprafaţă şi atomul ultim poate părăsi metalul cînd primeşte o energie suficientă.

În figura 5 s-a prezentat schematic procesul de focalizare în lungul unei direcţii cu atomi suficient de apropiaţi (fig. 5 a) şi procesul de îngrămădire a atomilor perpendicular pe o direcţie ce conţine atomi ceva mai distanţaţi (fig. 5 b). Astfel se poate explica pulverizarea preferenţială pentru anumite direcţii, ilustrată în figura 3.

Apariţia procesului de focalizare este determinată în primul rînd de distanţa dintre atomi dar şi de energia ionilor incidenţi care, după Balarin [10], trebuie să fie mai mare decît energia minimă necesară pentru pulverizare dar să nu depăşească de zece ori această valore. Altfel focalizarea nu mai joacă un rol atît de important.

Cu toate că această teorie explică majoritatea fenomenelor observate de Wehner şi ceilalţi experimentatori, ea nu poate da relaţii cantitative generale pentru dependenţa randamentului de pulverizare de direcţiile cristalografice. Datele experimentale, privind valorile şi dependenţa randamentului de pulverizare de diferiţi parametri, sînt numeroase şi suficient

de precise după cum se vede din tabloul 3 şi figurile 6 şi 7. Informaţii preţioase ne dau şi studiile efectuate pe suprafeţele metalice corodate prin bombardamentul ionic [8, 13]. Încercările teoretice de a calcula valorile randamentului de pulverizare sînt încununate de succes doar în cazuri particulare [14, 15].

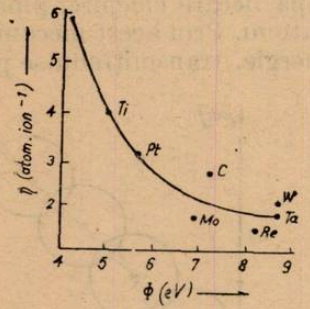


Fig. 6. — Dependenţa randamentului de pulverizare de căldura latentă de sublimare Φ pentru diferite metale pulverizate cu ioni de Cs [2].

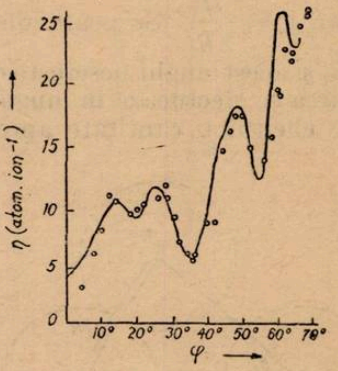


Fig. 7. — Dependenţa randamentului de pulverizare de unghiul de incidenţă φ a ionilor. Pulverizarea monocristalului de Cu s-a făcut cu ioni de Ar la 27 KeV [12].

Pe de altă parte Lehmann şi Sigmund [16] au arătat că pentru a explica depunerea metalului pulverizat sub formă de pete simetrice nu este obligatoriu să se folosească teoria focusonilor a lui Silsbee. Luînd în considerare spectrele energetice ale atomilor pulverizaţi, cu ajutorul ionilor de diferite energii, şi ţinînd seama de constatările experimentale în cazul metalelor cu structura hexagonală, ei ajung la concluzia [16] că nu este posibil să se explice figurile simetrice observate numai prin teoria focusonilor.

Tabloul nr. 3

Randamentul de pulverizare μ măsurat pentru diferite metale şi pentru diferite energii ale ionilor de argon incidenţi [11]

Metal	η(atom/ion) pentru E_{min}	E_{min}(eV)	100 eV	200 eV	300 eV	600 eV
Ta	0,01	60	0,1	0,28	0,41	0,62
Cr	0,026	40	0,30	0,67	0,87	1,30
Al	0,11	100	0,11	0,35	0,65	1,24
Mo	0,027	60	0,13	0,40	0,58	0,93
Co	0,048	60	0,15	0,57	0,81	1,36
W	0,008	60	0,068	0,29	0,40	0,62
Ni	0,067	60	0,28	0,66	0,95	1,52
Fe	0,064	60	0,20	0,53	0,76	1,26
Cu	0,10	60	0,48	1,10	1,59	2,30
Au	0,035	50	0,32	1,07	1,65	2,43 (500eV)
Ag	0,22	60	0,63	1,58	2,20	3,40
Pd	0,033	50	0,42	1,00	1,41	2,39

Considerînd două cazuri distincte, ioni cu energii mici şi ioni cu energii mari, au propus două mecanisme diferite pentru a explica procesele de pulverizare. Aceeaşi autori constată că randamentul de pulverizare calculat cu sau fără teoria focusonilor are acelaşi ordin de mărime.

Din cele de mai sus rezultă că asupra procesului de pulverizare catodică s-au efectuat numeroase studii experimentale sistematice şi aprofundate, şi s-au cristalizat cîteva teorii care încearcă să explice fenomenul, dar nu s-a reuşit încă să se elaboreze o teorie unică pe baza căreia să se explice toate constatările experimentale. Această situaţie n-a împedicat însă utilizarea procesului de pulverizare catodică atît în laboratoare cît şi în tehnica de producţie.

Pulverizarea catodică prezintă interes atît din punct de vedere pur ştiinţific privind mecanismul de interacţiune a ionilor incidenţi cu metalul, cît şi din punct de vedere practic privind aplicaţiile tehnice. Din punct de vedere istoric prima aplicaţie a fost obţinerea straturilor metalice, dar mai tîrziu s-a observat că bombardamentul ionic al solidelor are mare importanţă în fenomenele de interacţiune a plasmei cu pereţii, la construirea pompelor cu pulverizare, în fenomenele de distrugere a materialelor rachetelor şi sateliţilor etc.

Straturile subţiri metalice prezintă o importanţă deosebită pentru tehnica frecvenţelor ultraînalte şi, cele feromagnetice, pentru construirea elementelor de memorie a unor maşini de calcul. Studiul proprietăţilor acestor straturi dă posibilitatea obţinerii unor informaţii preţioase privind structura metalelor.

Pentru prepararea acestor straturi se poate utiliza metoda electrolitică, metoda evaporării în vid sau pulverizarea catodică. Această din urmă a fost mult timp neglijată dar studiile experimentale din ultimii ani au arătat că are chiar unele avantaje faţă de evaporarea în vid.

La noi, această metodă a fost utilizată încă în anul 1940 cînd, sub conducerea Acad. Prof. St. Procopiu, s-a efectuat, în laboratorul de Electricitate a Universităţii din Iaşi, o teză de doctorat [17] privind proprietăţile magnetice ale straturilor subţiri. Recent, tot sub conducerea Acad. Prof. St. Procopiu, s-a susţinut o altă teză de doctorat [19] privind anozotropia magnetică a straturilor subţiri de nechel obţinute prin pulverizare catodică. Aparatura modernă cu care a fost dotat laboratorul în ultimii ani a permis abordarea acestei teme actuale care stă în centrul atenţiei cercetătorilor.

Studii privind bombardamentul ionic al solidelor, ca metodă de studiu a suprafeţelor metalice, au fost făcute de I. Teodorescu [13] de la Institutul Fizică Atomică, obţinînd rezultate deosebit de valoroase. Tot la Institutul de Fizică Atomică, datorită studiilor lui G. Comşa, [18], s-au construit pompe perfecţionate pentru vid ultraînalt (10 torr) bazate pe fenomenul de pulverizare catodică.

BIBLIOGRAFIE

[1] *Kapţov N. A.*, Fenomene electrice în gaze şi vid, Editura tehnică, Bucureşti, 1955, pag. 374–378.

[2] *Lebedev S. Ia.*, Stabisskii Iu. A., Şutko Iu., V., Izv. Akad. Nauk., SSSR, 28, 1488 (1946).

[3] *Hulburt E, O.*, Rev. Sci. Instruments, 5, 85 (1934).

[4] *Francombe M. H.*, Noreica A. J., J. Appl. Phys., *32*, 97 S (1961).

[5] *Hippel A.*, Ann. d. Phys., *80*, 671 (1926); *81*, 1043 (1926); *85*, 1006 (1928).

[6] *Keywell F.*, Phys. Lev., *97*, 1611 (1955).

[7] *Iurasova B. E.*, Journal Tehn. Fiz., *38*, 1966 (1958).
[8] *Wehner G. K.*, Phys. Rev., *102*, 690 (1956).
[9] *Silsbee R. H.*, J. Appl. Phys., *28*, 1246 (1957).
[10] *Moţoc C.*, Acţiunea radiaţiilor nucleare asupra corpului solid. Edit. Acad. R.S.R., Bucureşti, 1964.
[11] *Laegreid N.*, Wehner G. K., J. Appl. Phys., *32*, 365 (1962).
[12] *Odinţov D. D.*, Izv. Akad. Nauk. SSSR., *28* , 1427 (1964).
[13] *Teodorescu I.*, Studii şi cercetări fizice, *18*, 511 (1966).
[14] *Bulgakov Iu. V.*, Izv. Akad. Nauk. SSSR. *28*, 1474 (1964).
[15] *Kamminsky M.*, Advances in Mass Spectrometry, vol. 3. London (1965).
[16] *Lehmann Chr., Sigmund* P., Phys. stat. sol. *16*, 507 (1966).
[17] *Florescu N. Al.*, An. Univ. Iaşi, *26*, fasc. 1, 80, (1940).
[19] *Comşa, G.*, Studii şi cercetări fizice, *11*, 645, (1960).
[19] *Sorohan M.*, Teză de doctorat, Iaşi 1967.

SISTEMUL PERIODIC AL ELEMENTELOR FACTOR DE EDUCAŢIE ŞTIINŢIFICĂ

de *ELENA BOGDAN*
conferenţiar la Universitatea „Al. I. Cuza" IAŞI

În general chimia organică se învaţă mai uşor decît chimia anorganică. Combinaţiile se deduc unele din altele, după reguli uşor de reţinut şi totul devine curgător, cere un efort uşor de susţinut de majoritatea persoanelor care şi-au ales chimia ca specialitate. Chimia anorganică se învaţă mai greu-regulele deductive s-ar părea că intervin mai puţin aici şi studiul discontinuu, particular, cere un efort greu de susţinut pentru mulţi dintre studenţi.

Aceasta pentru că puţini dintre ei reţin în minte scheletul, eşafodajul, pe care este clădit întreg edificiul chimiei anorganice, nefiind conştienţi că a avea prezent în minte tot tabloul periodic al elementelor, cu conştiinţa valenţei, a homologiei, a formelor de compuşi şi a aranjării electronilor interni şi periferici ai atomilor diferitelor elemente, înseamnă a cunoaşte clar jumătate din chimia anorganică.

Căci, dacă studentul ştie din ce grupă şi din ce perioadă a sistemului periodic face parte un element, ştie şi forma compuşilor lui şi principalele lui caractersitici fizice şi chimice.

Deci tabloul periodic al elementelor face unirea, este liantul tuturor cunoştinţelor din chimia anorganică şi cunoaşterea lui este prima necesitate a chimiei anorganice.

Tot o necesitate actuală este şi cunoaşterea diferitelor forme de tablou periodic care au fost propuse de diferiţi cercetători şi nu numai forma dată de Mendeleev.

Urmărind evoluţia aranjării elementelor în ordine pe diferitele forme de tablouri propuse pînă azi, urmăreşti gîndirea ştiinţifică despre materie în tot sbuciumul ei, în progresul ei, în salturile ei aduse de perfecţionarea tehnică de cercetare precum şi de deducţiile logice generale ale diverşilor cercetători : Berzelius, Döbereiner, Chancourtois, Newlands, Lothar Meyer Mendeleev, J. Thomson, Rydberg, Werner, Ramsay, Moseley, Janet, Paneth, Bohr, Pauli, De Broglie, Heinsenberg Schrödinger, Pauling, pentru a nu cita decît pe cîţiva.

Toți s-au preocupat să aducă o perfecționare, să facă mai clare unele detalii, să exprime într-o formă mai adecvată relația strînsă care există între creșterea regulată a numărului de ordine și cea neregulată a greutății atomice, formă care să exprime în același timp și periodicitatea.

Cercetînd literatura de specialitate, constați cu uimire cît de multe lucrări s-au scris, cît de mulți cercetători s-au străduit să exprime mai fidel legătura între așezarea elementelor în ordine și complexitatea fenomenelor fizice și chimice care decurg periodic din această așezare.

Și dacă mulți din ei n-au reușit, nu este din vina lor ci din cauza lipsei de cunoștințe precise ale epocii în care au trăit. A gîndi în această direcție, după ce Mendeleev a gîndit odată pentru totdeauna, se considera chiar și o lipsă de seriozitate.

Dar iată că încetul cu încetul, datorită mai ales găsirii de noi grupe de elemente, își fac loc în literatură propuneri foarte interesante care aduc lămuriri și completări serioase și care trebuiesc luate în seamă. Au fost propuse tablouri cu perioade scurte sau lungi, așezate în plan sau în spațiu, pe baza creșterii greutății atomice, pe baza volumului atomic, pe baza creșterii numărului de ordine, pe baza numărului de straturi de electroni, pe baza electronului distinctiv, pe baza ordinei în care subnivelele de electroni se completează pe straturile periferice sau interne ale atomilor, pe baza energiei subnivelelor, a datelor spectroscopice, a răspîndirii în scoarța pămîntului, a structurii cristaline, a susceptibilității magnetice, a a potențialelor de ionizare, a electronegativității, etc ... S-au propus tablouri de formă dreptunghiulară, triunghiulară, în evantail, pe blocuri, în formă de un cilindru, de 2 cilindri, de 3 cilindri tangenți, de trunchi de piramidă, de pagodă, de cerc, de spirală plană, de spirală în spațiu.

Pentru aranjarea elementelor pe o curbă, s-a considerat că nu există o posibilitate de exprimare matematică, fiindcă orice reprezentare matematică cere simplitate și valori continui, pe cînd cele ce se întîmplă în natură sînt de o mare complexitate și prezintă salturi, discontinuitate aparentă.

Însuși D. I. Mendeleev preocupat de această posibilitate, exprimă în „Bazele chimiei" : Legea periodică reală nu corespunde modificării progresive a proprietăților, cu variația progresivă a greutății atomice : ea nu exprimă, într-un cuvînt o funcție continuă. Fiind o lege chimică care are ca punct de plecare noțiunea de atom și de moleculă care se combină în proporții multiple, adică în mod întrerupt și nu continuu, ea se sprijină pe formele de combinații ; ori aceste forme nu sînt numeroase, ele sînt, aritmetic vorbind, simple și se repetă fără să prezinte tranziții neîntrerupte. De aceea fiecare perioadă nu conține decît un număr finit de termeni.

Este imposibil ca între Mg și Al să existe un element intermediar ; există însă o condiție de continuitate, necesară după legea proporțiilor multiple.

«Legea periodică nu trebuie să fie deci, exprimată cu ajutorul figurilor geometrice care presupun continuitate, ci printr-un procedeu asemănător cu cel al teoriei numerelor».

El citează apoi multe procedee propuse de diferiți cercetători și care ar constitui posibilități de exprimare : o curbă periodică analoagă cu oscilația unui pendul, alta cu elementele așezate pe suprafețe de rotație la punctele de intersecție cu alte suprafețe definite, altele exprimate prin funcții de exponenți de numere întregi sau prin funcții trigonometrice, etc. ..

Cu toate aceste observații, tendința de a exprima numărul de elemente cuprinse într-o perioadă, sau găsirea de relații matematice care să exprime dependența înșirării elementelor în alt mod decît o făcuse Mendeleev, nu dispare la sfîrșitul veacului trecut ci dimpotrivă crește.

Dintre gînditorii care s-au servit cu îndîrjire de arma matematică, a fost fizicianul suedez J. R. Rydberg. Desigur, dacă s-ar fi cunoscut mai multe detalii despre materie în acea vreme, el ar fi ajuns la rezultate răsunătoare, deoarece el a vrut să lămurească matematic multe fapte.

Frapat de faptul că greutățile atomice nu sînt multipli exacți ai greutății atomice a hidrogenului, ci sînt numere apropiate el calculează (1886, 1897) probabilitatea ca un element să aibă un pond atomic număr întreg. El face observația că acestea, nefiind numere întregi se pot considera ca formate din doi factori : un număr întreg N și altul D, mic față de unitate. Valorile lui N aparțin în genere elementelor de valență nepereche sau celor de valență pereche și se pot exprima prin $N = 4n + 1$; $4n + 2$; $4n + 3$; ceace face ca toate elementele să fie împărțite în patru grupe ; n din formule reprezintă un număr întreg și proprietățile elementelor sînt funcții periodice care depind de valorile lui n.

Aceste considerente au avut atunci mare răsunet și foarte mulți cercetători au căutat să interpreteze semnificația lui n. După descoperirea particulelor nucleare, $4n$ se confunda cu particula α. Rydberg, cu raționamentele lui matematice, ajungea la concluzia că la cercetările asupra sistemului periodic, trebuie să se întrebuințeze numerele de ordine ca variabilă independentă, nu greutățile atomice.

În 1914 Rydberg publică în „Journal de Chimie Physique" un articol «Cercetări asupra sistemului elementelor»,. în care, pe lîngă multe considerente asupra diferențelor mijlocii ale ponderilor atomice în grupe, asupra elementelor pare și impare el arată că numărul elementelor din perioade se poate calcula cu formula $N = 2n^2$. Mai arată apoi că elementele se pot aranja în serii, pentru care dă mai multe formule. Ajunge la concluzia că cel mai normal se poate construi sistemul periodic pe o spirală plană (dă un model) sau, dacă s-ar găsi o a treia variabilă, pe o spirală conică în spațiu.

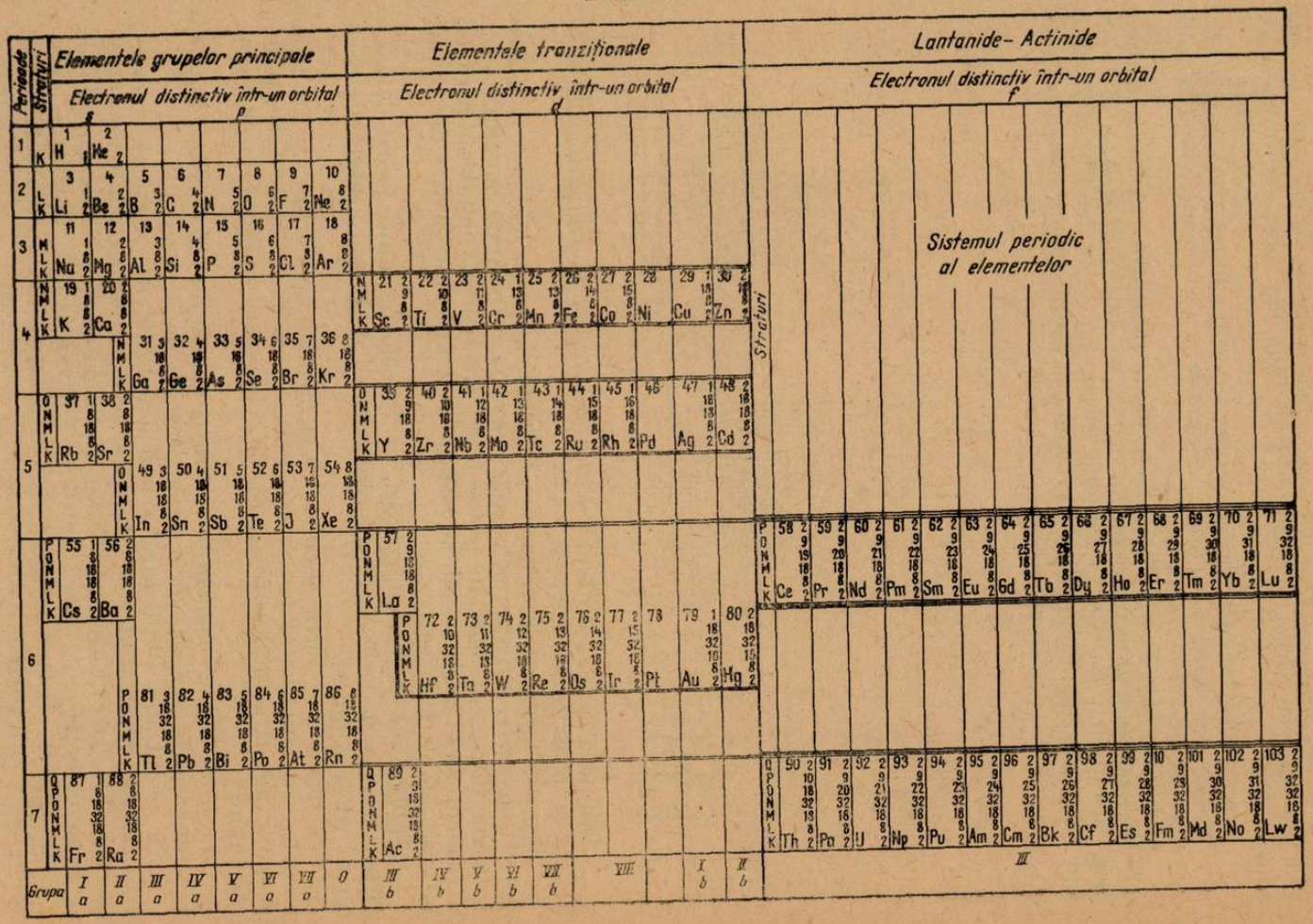
Reluînd în 1947 și 1948 formulele seriilor lui Rydberg și modificîndule, autorul L. M. Simmons din Sydney Australia, ajunge la o formă

$$S_t = 2 \cdot 1^2 + 2 \cdot 1^2 + 2 \cdot 2^2 + \ldots 2\left[\frac{1}{2}t + \frac{1}{4}t + \frac{1}{4}(-1)t\right]^2$$

în care, dînd diferite valori lui t, ajunge să construiască un «tablou aritmetic» care coincide cu tabloul construit de alți autori. (Ch. Janet, Ebel, Gardner, Luder, Babor), după electronul distinctiv pe „blocuri" de energie tablou mult uzitat astăzi, pe care se separă elementele în elemente reprezentative (cu electron distinctiv s sau p) și în elemente tranziționale (cu electron distinctiv d sau f).

Astăzi, considerînd electronul, protonul și neutronul ca cele trei variabile în înșiruirea elementelor, se trasează o curbă spiralică, care în spațiu capătă forma unui clopot, cu trei zone bine definite, datorită creșterii neregulate a variabilei a treia. Pe această spirală lantanidele și actinidele se așează în șir între elemente, nu pe locuri separate în afară de tablou. (Vezi Elena Bogdan, Analele Șt. Univ. Iași, 1964).

Afirmația lui Mendeleev că între Mg și Al nu se pot intercala alte elemente, începe să se topească la căldura noilor cunoștințe despre materie :

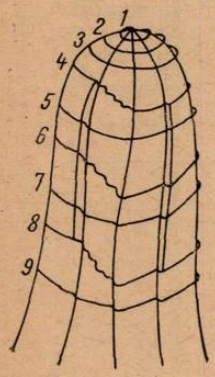

Perioade
Straturi
Elementele grupelor principale
Electronul distinctiv într-un orbital
s
p
Elementele tranziționale
Electronul distinctiv într-un orbital
d
Lantanide – Actinide
Electronul distinctiv într-un orbital
f
Sistemul periodic al elementelor
Straturi
Grupa
I a
II a
III a
IV a
V a
VI a
VII a
0
III b
IV b
V b
VI b
VII b
VIII
I b
II b
III

între toate elementele se pot intercala isotopii lor. Nu va trece mult şi legea periodicităţii se va putea exprima printr-o figură geometrică bazată pe o funcţie exponenţială, atunci cînd se vor alege ca variabile, particule mai fine ale materiei care vor permite să se vadă mai bine continuitatea în construcţie.

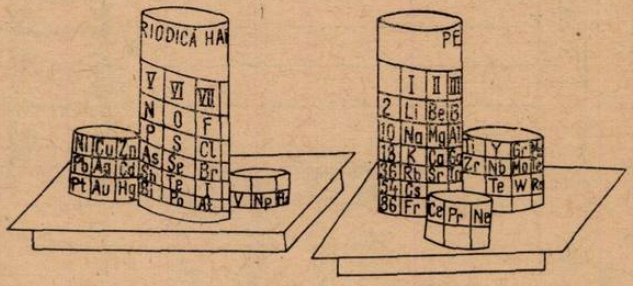
Necesitatea memorării elementelor în ordine după grupe şi perioade pentru uşurarea învăţării chimiei anorganice, a fost socotită încă de mult ca un lucru de mare importanţă.

Cei dintîi care s-au gîndit să lucreze practic pentru a uşura memorarea tabloului periodic al elementelor au fost A. v. Antropoff şi M. v. Stackelberg care în 1929 şi 1932 au editat la Berlin un Atlas der Physikalischen und Anorganischen Chemie. În acest atlas, ei prezentau un sistem periodic pe perioade lungi, divers colorate.

TABELUL 2



TABELUL 3



Din această idee au luat naştere altele, atît în Germania cît şi în Franţa şi mai ales în America.

În 1937, cu ocazia expoziţiei internaţionale de la Paris în Palais de la Découverte, înfiinţat cu această ocazie prin stăruinţa marelui savant J. Perrin, într-o sală mare, un perete întreg era acoperit cu tabloul periodic al elementelor. Literele şi cifrele însoţitoare erau confecţionate din tuburi de sticlă umplute cu gaze rare.

Tabloul era pe perioade lungi, pe 18 coloane, după forma dată de Alfred Werner în 1905 şi după preferinţa lui J. Perrin arătată de el în cartea „Les Atomes".

Persoana care dorea să cunoască elementele unei grupe sau ale unei perioade, sau lantanidele de ex., apăsa pe un buton şi obţinea grupa sau perioada luminată total sau pe porţiuni, cu aceeaşi culoare sau cu culori diferenţiate.

Pe acel tablou, elementul 87 purta numele de Moldavium dat de H. Hulubei care era cercetător în laboratorul lui J. Perrin.

De modul cum se utilizează tabloul periodic pentru practica memorării lui de către elevi sau studenţi în America, ne-o spun foarte multe articole apărute în Journal of Chemical Education, publicaţie foarte interesantă care este organul secţiei educaţiei ştiinţifice a Societăţi i de Chimie Americane.

În 1955 R. Scheer prezintă «un sistem periodic variabil» adică un tablou făcut din cartoane divers colorate şi care se pot scoate separat; perioadele sau grupele se pot strînge sau întinde ca jucăriile de carton transformînd tabloul cu perioade lungi în tablou cu perioade scurte sau

invers. În căsuța fiecărui element se găsesc scrise și proprietățile caracteristice.

În alte reprezentări, elementul este așezat pe un cilindru mic rotativ colorat care se poate scoate și studia separat (Sanderson, 1956).

Octavia Sell de la Anderson College din Carolina de Sud în 1955 are ideea să prezinte elementele pe o bandă de hîrtie înfășurată pe 3 cilindri tangenți de dimensiuni diferite : pe cel mai înalt sînt scrise elementele reprezentative, pe al doilea cele 30 tranziționale (cu electronul distinctiv *d*) și pe al treilea și cel mai mic, lantanidele (cu electrodul distinctiv *f*). Nu sînt trecute și actinidele, deoarece în aceea vreme, încă nu era popularizată homologia lantanide-actinide.

Foarte simplu și explicit este aranjamentul propus în 1949 de L. S. Foster, într-un raport al asociației profesorilor din New England. El scrie elementele în șir pe o bandă de hîrtie pe care o învîrte în spirală și o aranjează astfel încît elementele unei aceleiași grupe să se așeze unele sub altele.

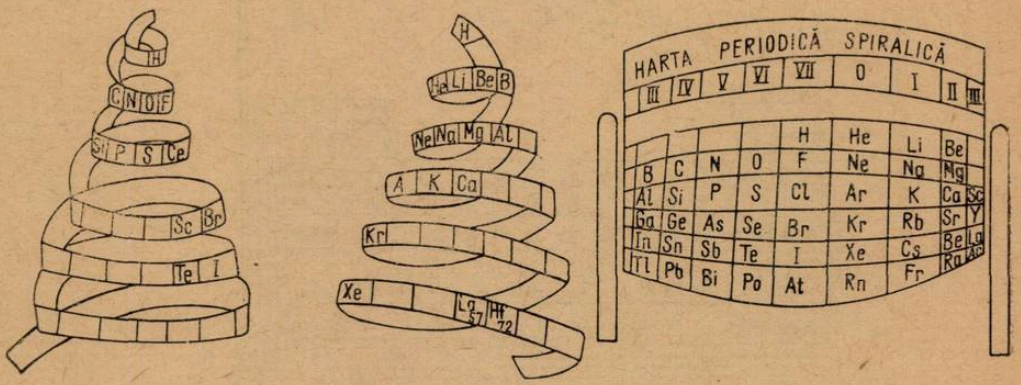
Tot în 1949 G. A. Scherer propune o «hartă periodică spiralică» care se utilizează de mai mulți ani la Colegiul Earlham, unde fiecare student își construiește una din carton. Acest exercițiu practic îl ajută pe student să înțeleagă relațiile periodice între elemente.

Două cartoane dreptunghiulare pe care sînt trecute elementele în șir se reunesc în formă de cilindru și se susțin cu ajutorul unui suport de lemn. În clasă se expune un tablou identic de 43 cm diametru și 28 cm înălțime susținut de un suport executat din material plastic.

În toate aceste încercări se vede dorința de a familiariza copilul sau tînărul cu aranjarea elementelor pe perioade și familii, de a introduce tabloul printre necesitățile familiare, ca pe hărțile geografice.

Copilul jucîndu-se poate să înțeleagă, să urmărească și să memoreze detaliile cu mai mult interes, mai ușor decît de pe o foaie de carte, constituindu-și o rezervă de cunoștințe utile. Din multe articole reiese faptul demn de imitat ca în școli elevii poartă în geantă cartoane scrise și colorate pe care le îmbină pentru a-și construi singuri harta «elementelor».

TABELUL 4 *TABELUL 5*



Cu deosebire instructivă, ni se pare așa numita «Forma laminară» a tabloului periodic, construită de mai mulți profesori de la Universitatea din Filadelfia (A. N. Wrigley, W. C. Mast, T. P. Mc Cutcheon) (1949).

Se prezintă «o formă simplă a tabloului periodic.. care arată pentru fiecare element relația dintre numărul atomic, configurația electronică și poziția sa în sistem».

«Se construieşte o formă din 7 tabele care se aşează una peste alta şi se obţine un efect tridimensional, fără a sacrifica avantajele modelului plan».

Planul construcţiei este următorul : fiecare orbită este reprezentată de un carton separat care reprezintă nivelul de energie, numărul cuantic principal. Cartoanele au următoarele forme :

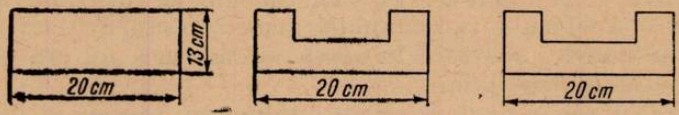


Fig. A

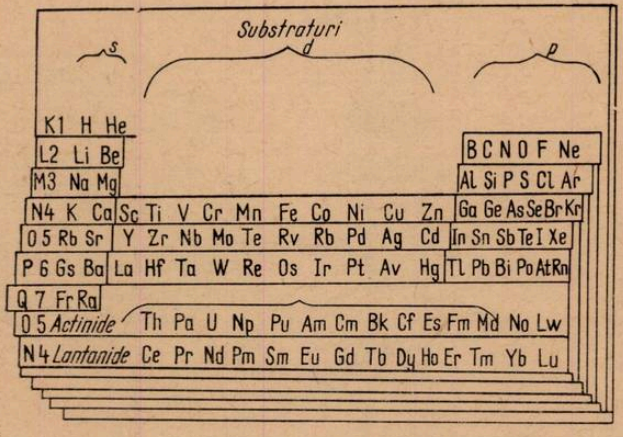
Următoarele au aceeaşi lungime dar înălţimea scade progresiv. Pe fiecare se aşează elementele unei perioade şi se completează în scris structura electronică. Cartoanele se aşează în ordine într-un cadru de lemn sau de carton, aşezat orizontal. Întregul edificiu este construit de student, colorat şi completat cu detalii, după voie.

Alţi autori (Glocker, Popov) în 1951, găsesc mai explicit tabloul dat de J. Thomsen în 1895, tablou preferat şi completat de Niels Bohr şi care în multe cărţi este trecut ca tabloul lui Bohr.

Şi unii cercetători sovietici caută să găsească o formă nouă de exprimare pentru tabloul periodic al elementelor.

Dintre aceştia citäm pe Faustov, Murasov, Bocchii, Şarchisov, Ahumov, Sîrchin şi Diatchina, Vernadschi care după 1945 publică mai multe articole, unii dintre ei preocupaţi mai ales de aşezarea actinidelor n sistem.

TABELUL 6



În acest sens, cel mai sistematic lucrează A. P- Kaputinschi care în 1949 caută să găsească o funcţie exactă care să permită obţinerea cantitativă a anumitor proprietăţi ale tuturor elementelor, în funcţie de numărul de ordine şi de valenţa maximă. Pentru aceasta se serveşte de distanţa interatomică în reţelele cristaline.

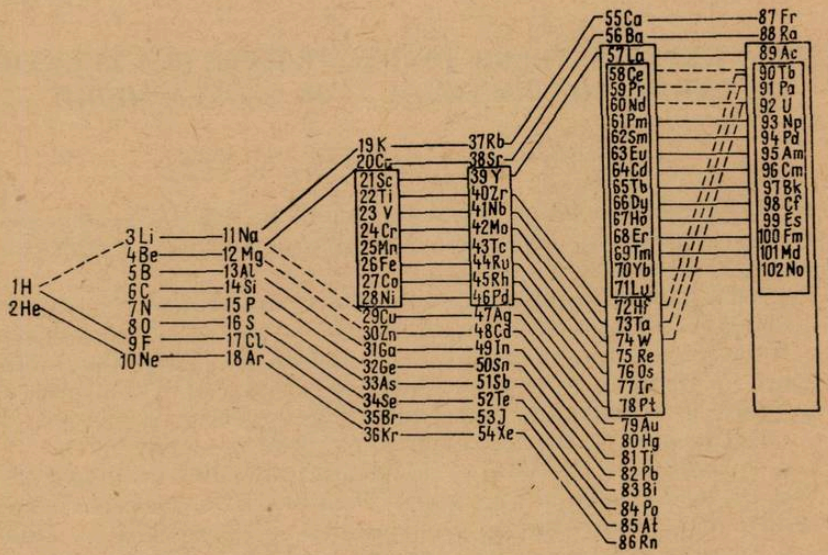
În 1951, Kapustinschi revine asupra problemei căutînd să găsească o expresie matematică generală pentru numărul de elemente dintr-o perioadă. Propune formula :

$$S = 2\ (n_1 + n_2)^2$$

în care :

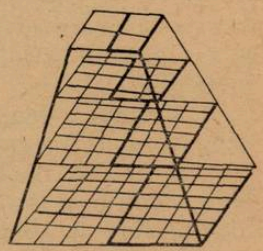
S = numărul elementelor dintr-o perioadă,
n_1 = numărul perioadei pare
n_2 = numărul perioadei impare

TABELUL 7



În 1953, reluînd ideea aplicării matematicii ca instrument pentru generalizarea datelor experimentale, Kapustinski găsește că teoria numerelor poate reda în mod optim legea periodicității și deci a sistemului periodic, deoarece ea este o teorie a valorilor discontinui. Considerînd că 4 este cel mai simplu și în același timp și primul număr compus, el găsește că, $S = 4\ n^2$ este formula care să exprime valoarea către care tinde numărul elementelor, iar reprezentarea sistemului periodic poate fi obținută în spațiu pe secțiuni patrate paralele, ceea ce duce la un trunchi de piramidă tetragonală.

TABELUL 8



Și unii cercetători români s-au ocupat de problema aranjării elementelor în ordine, pentru a propune unele clarificări prin schimbări introduse în ordinea tablourilor cunoscute. Printre aceștia citățm pe prof. M. Ionescu (Cluj, 1956) și pe prof. C. Bedreag (Iași, 1916 — 1962)

Nu putem intra în amănunte în acest articol dar tocmai amănuntele sînt acelea care arată și diversitatea și valoarea gîndirii omenești în modul de a rezolva o problemă, problemă rezolvată de D. I. Mendeelev cu atîta luciditate, după stadiul cunoștințelor epocii.

Veritabila explozie a științei în ultima vreme cere să se dea o nouă formă care să întregească viziunea minunată a lui Mendeleev, după stadiul actual al cunoștințelor în domeniul fundamental al structurii materiei.

Pentru a vedea dacă articolul acesta și-a atins scopul, propunem ca cititorii să scrie la revistă, arătîndu-și preferința pentru una sau alta din formele de tablou arătate mai sus.

Am mai face propunerea să scrie și dacă ei consideră că familiarizîndu-se cu sistemul periodic al elementelor, își îmbogățesc și clarifică cunoștințele de fizică și de chimie pe care le posedă.

METODICA EXPERIENȚELOR DEMONSTRATIVE ȘI A LUCRĂRILOR DE LABORATOR LA FIZICA — IN ȘCOALA MEDIE

Prof. *MELANIA MIȘARCA* șc. m. 1 Brașov

Evoluția vertiginoasă a fizicii în secolul nostru s-a produs pe două direcții : teoretică și experimentală. Mînă în mînă fizica și tehnica se sprijină și se impulsionează reciproc.

Pentru a putea răspunde imperativelor vremii, fizica în școală trebuie să se îmbogățească mereu — nu numai sub aspectul introducerii noilor cuceriri în programa de învățămînt, dar totodată și sub aspectul metodelor de predare și prezentare a materialului experimental. Ca știință despre natură, fizica e o disciplină experimentală, de aceea pedagogia zilelor noastre dă atîta importanță lucrărilor practice în predarea fizicii.

Demonstrația. În activitatea învățămîntului, metoda demonstrativă reprezintă un factor de importanță incontestabilă. Atenția crește pe măsura solicitării cît mai multor simțuri și memorarea se întărește. I. A. Conenski spunea : „Totul în măsura posibilităților trebuie oferit simțurilor. Percepția devine mult mai puternică dacă la această pecepție iau parte mai multe organe de simț".

În toate cazurile în care un fenomen poate fi reprodus în condițiile laboratorului școlar și în care se cere o conducere activă a gîndirii elevului de către profesor, experiența lasă o puternică impresie asupra elevilor, adesea îi fascinează și le trezește interesul pentru știință. Demonstrația este o metodă de neînlocuit mai ales atunci cînd, instalația cere aparatură pe care școala nu o poate procura în mai multe exemplare pentru lucrări frontale (spectroscopie, tuburi Röntgen, pompe de vid etc.) De asemenea, ea se impune ori de cîte ori e necesară economia de timp în montarea instalației.

Metodica demonstrațiilor. Condițiile care fac ca demonstrația să-și atingă scopul instructiv și educativ sînt următoarele :

a) Ea să fie legată organic de materialul examinat în sensul că demonstrația trebuie făcută odată cu expunerea temei și nu un șir de demonstrații la sfîrșitul unui capitol.

b) Profesorul trebuie să arate obiectivul experienței. Inițial prin discuții profesorul va conduce pe elevi la ridicarea problemei, motivîndu-se astfel necesitatea experienței.

c) În cazul în care experiența este complicată, ea va fi descompusă în operațiuni separate.

d) Pentru a răspunde la problema ridicată elevii sînt lăsaţi să observe desfăşurarea fenomenului. Se pune întrebarea dacă profesorul trebuie sau nu să indice dinainte elevilor ce trebuie anume să observe. Din principiile generale ale procedeului euristic, rezultă că nu trebuie spus dinainte ce se va observa. Profesorul însă are latitudinea să decidă după împrejurări dacă e bine să anunţe sau nu rezultatul experienţei.

e) După ce s-a efectuat experienţa, elevii vor fi lăsaţi să caute singuri răspunsul la problema ridicată, iar procedeul acesta să poată aplica din aproape în aproape şi la experienţe complicate, descompuse în părţi mai simple.

f) Atunci cînd timpul şi natura demonstraţiei permite este de dorit ca concluzia pe care o cerem elevilor să nu se tragă dintr-o singură experienţă ci din mai multe variante ale acesteia (ex. pelicul superficiale de lichid, spectre magnetice etc.).

g) Nu este indicat nici mărirea pînă la supra încărcarea numărului de experienţe. Profesorul va putea sesiza care este numărul optim de experienţe necesar pentru formularea unei concluzii.

h) Domeniul de aplicabilitate al metodei demonstrative este domeniul experienţelor calitative. Pentru determinări cantitative asigurarea vizibilităţii scalelor aparatelor pentru întreaga sală este o performanţă uneori dificilă şi de aceea se recurge adesea la invitarea unuia sau mai multor elevi care citesc indicaţiile aparatelor (ceea ce nu poate asigura o participare suficientă de activă a întregii clase). În general nu se determină constante fizice prin metoda demonstrativă.

i) O altă problemă pe care o ridică metodica demonstraţiilor este aceea a efectuării montajelor. E bine să le efectuăm în faţa elevilor, sau e mai indicat ca lucrarea să fie montată de către profesor în prealabil? Din punct de vedere metodic, ideal ar fi ca instalaţiile să se execute în faţa elevilor, dar nu este totdeauna posibil din motive multiple : primul — şi nu cel mai neînsemnat este lipsa de timp. Apoi instalaţia poate fi capricioasă, greoaie, cerînd să fie realizată înainte de lecţie (unele experienţe de optică).

Tehnica demonstraţiilor. O demonstraţie experimentală desfăşurată în bune condiţii satisface următoarele două cerinţe :

1) Realizează o vizibilitate maximă a fenomenului din toate părţile clasei.

2) Fenomenul poate fi urmărit direct la aparat ceea ce este preferabil faţă de proiectare prin umbre sau imagini luminoase.

Din aceste două cerinţe principale, decurg o serie de reguli de prezentare, pe care orice bun experimentator şi profesor le îndeplineşte.

Este salutară direcţia urmată de I. M. D. de a construi aparatele din piese standard, din care se pot alcătui instalaţii diferite. Aceasta permite ca montajele să se realizeze în faţa elevilor, ceea ce coincide în totul cu interesele pedagogice. Este de dorit ca tov. profesori să colaboreze cu I. M. D., care are o bună concepţie şi care primeşte propuneri pe linia îmbunătăţirii şi perfecţionării materialului didactic. Demnă de încurajat este şi iniţiativa unor tov. profesori, care îmbogăţesc zestrea laboratoarelor şcolare cu material confecţionat de elevi. De asemenea, pentru acoperirea unor lacune în dotarea laboratoarelor, poate fi solicitat şi comitetul de părinţi care, cu sprijinul întreprinderilor în care muncesc, pot ajuta şcolile în confecţionarea unor dispozitive.

Aparatele întrebuinţate în şcoală trebuie să prezinte reale calităţi demonstrative şi un exterior tehnic desăvîrşit.

Tehnica pune astăzi la dispoziţia experimentatorului aparate perfecţionate, cu un înalt grad de precizie în măsurători — element educativ prin el însuşi (trezind la elevi admiraţia pentru geniul uman şi pentru munca desfăşurată de constructorii acestor dispozitive). Un laborator bine utilat, modern, întreţinut cu precizie şi competenţă, mereu îmbogăţit, are o acţiune stimulatoare în activitatea ştiinţifică, educă pe elev în spiritul dragostei pentru munca de cercetare.

Scopul lecţiilor cu demonstraţii experimentale se poate considera atins, numai dacă ele izbutesc o atragere cît mai largă a elevilor în efectuarea de demonstraţii. Dacă elevii manifestă dorinţa de a lucra, profesorul are datoria de a cultiva la ei acest interes atrăgîndu-i la pregătirea demonstraţiilor pentru lecţie.

Lucrările de laborator. Experimentînd el însuşi, elevul va înţelege mai profund cele studiate teoretic, cunoştinţele dobîndite vor fi fixate cu mai multă trăinicie, deoarece la însuşirea lor a contribuit percepţia prin toate simţurile. Din multitudinea de fenomene desfăşurate în natură, elevii învaţă să izoleze un anumit fenomen, către care îşi dirijează atenţia, dobîndind pe această cale o perspectivă asupra modului în care a decurs şi şi-a desfăşurat cercetarea ştiinţifică de-alungul istoriei ştiinţei însăşi.

Trebuie să avem în vedere că lucrările de laborator nu permit numai o mai profundă şi mai largă cunoaştere a fenomenelor de către elevi, dar ele formează şi deprinderi practice de mînuire a aparatelor, dezvoltată atenţia şi priceperea de a observa interpretativ.

Cu ocazia lucrărilor de laborator elevii fac cunoştinţă cu *erorile experimentale* şi îşi pot da seama că rezultatele obţinute se apropie de adevăratele raporturi între obiecte şi fenomenele în limita acestor erori.

Metodele de efectuare a lucrărilor de laborator sînt două :

a) metoda frontală

b) metoda individuală

Metoda frontală este acea organizare a lucrărilor în care toată clasa se ocupă în acelaşi timp de aceiaşi temă, folosind aparate de acelaşi tip. În cazul metodei individuale grupe restrînse de 2—3 elevi lucrează la lucrări diferite cu teme diferite.

Metoda frontală prezintă anumite avantaje faţă de cea individuală :

a) Ea poate fi strîns împletită cu lecţiile predate devenind astfel o parte organică a acestora.

b) Prin metoda frontală *creşte statistica*. Numărul de date obţinute se multiplică de atîtea ori, cîte grupe s-au format, fapt care duce la creşterea încrederii elevilor în rezultatele dobîndite.

c) Metoda obişnuieşte cu cercetarea colectivă.

d) Face posibilă divizarea muncii şi colaborarea.

e) Conducerea lucrărilor frontale de către profesor e mai uşoară decît a celor individuale. Profesorul poate veni la timp în ajutorul grupelor slabe şi poate da teme suplimentare celor care izbutesc să termine lucrarea mai devreme.

Metoda are dezavantajul economic binecunoscut. Scolile nu dispun de anumite instalaţii în atît de numeroase exemplare încît să permită desfăşurarea lucrărilor frontale în cele mai bune condiţiuni.

Dezavantajele metodei individuale sînt :

a) lipsa de legătură cu părţile cursului studiate

b) lipsa continuităţii în ordinea lucrărilor

c) imposibilitatea prelucrării în clasă a rezultatelor. Ea prezintă însă avantajele nete de a familiariza pe elev cu cercetarea științifică și de a-i dezvolta personalitatea, raționamentul și simțul de răspîndire,

Organizarea lucrărilor de laborator după scopul lor

1) de cercetare

2) de verificare

3) euristic.

Metoda de cercetare constă în aceea că profesorul ridică problema și lasă elevilor independența în rezolvarea ei. Această metodă dezvoltă aptitudinile de cercetare ale elevului, dar are dezavantajul de a cere foarte mult timp deoarece elevul tatonează diferite căi-unele neraționale — pentru rezolvarea problemei ridicate. De aceea metoda aceasta nu poate fi aplicată în cadrul orarului fix, pretîndu-se mai cu seamă la lucrările de cercetări.

Metoda euristică constă în punerea problemei de către profesor, schițarea căii de rezolvare de către acesta, dar rezultatul nu le este cunoscut elevilor.

În cazul metodei de verificare elevul reproduce demonstrația efectuată de profesor la curs, cunoscînd tema lucrării, desfășurarea ei, precum și rezultatele. Metoda deprinde pe elev cu efectuarea observațiilor experimentale, dar activează gîndirea mai puțin decît metoda euristică.

Lucrările de laborator pot fi calitative și cantitative. Într-o lucrare calitativă elevul observă desfășurarea unui fenomen și caracteristicile sale. Lucrările cantitative se efectuează fie pentru măsurarea unei constante, fie pentru deducerea unei legi. În general la clasele mai mari predomină sau ar trebui să predomine lucrările cu caracter cantitativă.

Metodica orelor de laborator. Se impune întocmirea unui plan judicios al lucrărilor deoarece unele durează 2 ore, altele — cu caracter calitativ — mai puțin de o oră.

Condiția metodică esențială este însă legătura organică cu materialul prezentat la lecție. Scopul lucrării trebuie expus clar pentru ca elevii să înțeleagă ce se urmărește prin această lucrare.

După explicațiile date de profesor-explicații care durează maximum 10 minute — urmează citirea atestă de către elevi a instrucțiunilor pentru executarea lucrării.

Începe apoi montarea instalației, după schemă. În cazul lucrărilor de electricitate lucrul nu va fi început înainte ca montajul să fi fost verificat de profesor, pentru a se evita deteriorarea aparatelor.

Pe măsură ce se efectuează lucrarea, elevii vor înscrie într-un tabel pe tablă, rezultatele obținute ; acestea vor fi discutate la sfîrșit. Profesorul va da enunțul legii ce se cercetează sau va comunica valoarea constantei fizice admise de știință. Fiecare elev va întocmi un referat, avînd astfel ocazia să gîndească asupra întregii lucrări.

Profesorul stabilește aprioric tipul lucrării după natura ei și după dotarea laboratorului în care lucrează. Pentru buna desfășurare a lucrării, indiferent de tipul ei profesorul trebuie să o fi pregătit dinainte cu minuțiozitate, pînă la ultima determinare.

Referatul de față își propune să ridice doar cîteva din problemele ce privesc lucrările de laborator în școala medie, lăsînd rezolvarea lor în seama consfătuirii și mai cu seamă a talentului didactic și a inițiativei fiecărui profesor.

În noua programă analitică a unor facultăți din învățămîntul superior, au dispărut unele lucrări de laborator la fizică generală, presupunîn-

du-se în acest fel că ele au fost efectuate de elevi în şcoala medie. Aceste lucrări aparţin capitolelor : mecanică şi căldură, termodinamică, electricitate. Nu mai figurează următoarele :

Mecanică

1) Instrumente de măsură (şubler. micrometru etc.)
2) Studiul balanţei
3) Maşina Atwood
4) Planul înclinat
5) Determinarea densităţii corpurilor prin diferite metode
6) Determinarea de călduri specifice şi latente
7) Coeficient de frecare
8) Vîscozitate
9) Lucrări de higrometrie

Electricitate

1) Verificarea legii Ohm
2) Măsurători de rezistenţe
3) Măsurători de tensiuni electromotoare
4) Variaţia rezistenţei electrice cu temperatura
5) Măsurători de capacităţi

Au rămas în programa facultăţilor mai sus amintite lucrările de : acustică, optică, unde şi structura substanţei.

Se impune deci, o creştere a numărului de ore de laborator în şcoala medie, o îmbunătăţire a modului de desfăşurare a lecţiilor practice şi o programare judicioasă a acestora.

Proiectul de programă al şcolii de 12 ani, prevede pentru clasele IX, X, XI, XII, un număr de ore de laborator la fizică după cum urmează :

Clasa IX-a — 15 ore
Clasa X-a reală şi umanistă 33 ore
Clasa XI-a „ „ „ 33 ore
Clasa XII-a „ „ „ respectiv 12 şi 8 ore.

Cu un astfel de număr de ore afectat lucrărilor de laborator se poate spera la o ridicare sensibilă a calităţii şi randamentului lecţiilor de fizică.

Proiectul de programă al şcolii de 12 ani prevede pentru : :

Clasa IX — 12 titluri de lucrări
Clasa X R — 21 „ „ „
Clasa XI R — 21 „ „ „
Clasa XII R — 12 „ „ „

Titlurile prevăzute de proiect sînt bine alese şi ne permitem să facem doar observaţia că, printre lucrările clasei a X-a figurează „Determinarea randamentului unui *încălzitor*", iar printre lucrările clasei a XI-a „Determinarea randamentului unui *fierbător*". Să se evite o eventuală repetare.

Printre lucrări există unele cu caracter calitativ, care pot fi trecute ca demonstraţii ale profesorului. Mă voi mărgini la cîteva exemple :

Clasa IX-a Compunerea forţelor concurente
Clasa IX-a Compunerea forţelor paralele

Clasa XII-a Experienţe de funcţionare a triodei ca detector şi amplificator cu ajutorul trusei electronice. Radioemisia şi radiorecepţia cu ajutorul aparatului pe panouri realizat de I. M. D.

La clasa XI-a Circuitul electric—sensul şi intensitatea curentului electric.

Măsurarea intensităţii şi măsurarea tensiunii electrice. ar putea fi cuprinse într-una singură şi realizate într-o şedinţă care poate fi eventual 2 ore.

De asemenea la clasa XII-a lucrările :

Determinarea distanţei focale a unei lentile convergente.

Determinarea puterii şi grosismentului unei lupe, pot constitui o lucrare de laborator unică.

Ţinînd seama nu de posibilităţile reale ale laboratorului acestea diferind de la şcoală la şcoală — ci de ceea ce este principial posibil, am încercat o împărţire a lucrărilor prevăzute în programă în două categorii şi anume : lucrări care se pretează la metoda frontală şi altele care e necesar să se desfăşoare individual. Ex. :

Clasa IX-a. În majoritate lucrările pot fi desfăşurate frontal, cu excepţia următoarelor :

— Măsurarea dimensiunilor unor piese cu ajutorul şublerului şi micrometrului.

— Variaţia legilor mişcării uniform-accelerate.

— Studiul balanţei. Metode de cîntărire (avînd în vedere scopul lucrării).

Clasa X-reală. Situaţia este asemănătoare. Este însă mai indicată metoda individuală pentru următoarele lucrări :

— Determinarea rezistenţei la rupere a metalelor.

— Determinarea coeficientului de tensiune superficială prin metoda picăturilor.

— Determinarea umidităţii relative a aerului cu ajutorul higrometrului.

— Măsurarea vitezei sunetului cu ajutorul tubului Kundt.

— Studiul transmiterii mişcărilor de rotaţie în tehnică.

Clasa XI-a. Printre aceste lucrări o seamă vor cere metoda individuală, ca :

— Determinarea t. e. m. a unui element galvanic.

— Măsurarea rezistenţei filamentului unui bec metalic cu ajutorul punţii cu fir : la rece şi la incandescenţă.

— Măsurarea energiei puterii electrice.

— Studiul variaţiei mărimii şi sensului tensiunii electromotoare în diferite cazuri de inducţie.

— Punerea în evidenţă a inducţiei în conductoare masive şi a efectului termic al curenţilor Foucault. Determinarea coeficientul de selfinducţie la o bobină.

— Determinarea calitativ al impedanţei (bobină şi condensator) în circuitul de curent alternativ.

Clasa XII-a. Dintre lucrările prevăzute pentru clasa XII-a cu excepția celor două mai înainte citate pentru a fi trecute la demonstrații și cu excepția lucrării „Determinarea indicelui de refracție al sticlei" — toate celelalte trebuie desfășurate prin metoda individuală (a se vedea programa).

Am considerat în cele de mai sus că unele lucrări se pretează în mod deosebit metodei individuale, iar altele celei frontale, urmînd două criterii : atît cel economic (și în primul rînd acesta) cît și cel al rezultatelor pe care trebuie să le obținem în urma efectuării lucrărilor. Mai cu seamă lucrările de măsurare a unei mărimi fizice sau de determinare a unei constante fizice trebuie să fie individuale, elevii fiind grupați 2—3 la o lucrare.

În limita reducerilor din programă, clasele umaniste vor desfășura aceleași lucrări ca și cele reale. Electricitatea, electronica și optica sînt strict necesare viitorilor naturaliști sau medicinești, iar electronica chiar lingviștilor.

În desfășurarea lucrărilor de laborator prevăzute de programa școlii de 12 ani vor întîmpina însă dificultăți pe care avem datoria să le cercetăm de pe poziții realiste sub toate aspectele.

În cazul desfășurării de lucrări individuale se ridică problema ca elevii să fie instruiți înainte de a li se pretinde o lucrare de laborator. Nu se poate cere — de pildă — măsurarea rezistenței electrice, cînd elevii abia au căpătat primele noțiuni de electrostatică, cu atît mai antipedagogică ar fi cerința de a efectua un montaj cu releu electromagnetic, etc. Trebuie deci să alegem bine cumpănit acea perioadă a anului școlar în care să desfășurăm lucrări de laborator individuale, astfel încît efectuarea lor să nu rămînă un mit și să fie cît mai profitabile pentru elevi. De aceea ar fi preferabil ca acest tip de lucrări să se efectueze fie la sfîrșit de trimestru fie la sfîrșitul anului școlar. Ne permitem să sugerăm ca, din lucrările de laborator prevăzute pentru un an școlar, să se selecționeze unele, cu caracter de sinteză, care pot servi la deschiderea unei largi perspective asupra materiei studiate și care să se efectueze în cele 2 săptămîni de recapitulare ale anului școlar următor (15—30 IX).

De asemenea în perioada de recapitulare de la începutul fiecărui an școlar se pot efectua lucrări care să creeze condiții pentru înțelegerea materiei ce se va preda în anul școlar început.

Lucrările individuale au o eficiență deosebită, formînd la elevi spiritul de cercetare, concentrîndu-le atenția și dîndu-le posibilitatea de a urmări îndeaproape toate fazele desfășurării fenomenului, pînă la obținerea rezultatului final. Pentru a desfășura lucrări individuale, aceste lucrări trebuie să se găsească în laborator, instalate, iar grupele să treacă prin rotație la fiecare lucrare. Lucrarea va fi însoțită de un îndrumător (referat) întocmit de profesor cît mai concis și mai clar, din care elevul va deduce tema, desfășurarea și scopul lucrării.

Punerea în aplicare a noii programe implică dotarea școlilor cu laboratoare care să aparțină numai disciplinei de fizică — să nu fie disputate cu chimia și cu doritorii de a transforma din cînd în cînd laboratorul de fizică,

În planificarea spațiului afectat laboratorului de fizică trebuie să se țină seama de existența a numeroase clase paralele. Trecînd în revistă cîteva din școlile din Brașov și calculînd numărul de ore de laborator anual, după programa școlii de 12 ani și admițînd numărul claselor a 12-a

cu o unitate mai mic decît numărul actual al claselor a 11-a obținem următoarele date :

Școala medie nr. 1

Cl. IX-a 15 ore x 9 clase = 135 ore
Cl. X-a 32 „ x 8 „ = 256 „
Cl. XI-a 32 „ x 7 „ = 224 „
Cl. XII-a 10 „ x 6 „ = 60 „

675 ore anual de laborator

ceea ce revine la minimum 3 ore de lucrări zilnic
Școala are o singură sală de laborator pentru fizică și 1 pentru. chimie.

Școala medie nr. 3

Cl, IX-a 15 ore × 7 clase = 105 ore
Cl. X-a 32 „ × 4 „ = 128 „
Cl. XI-a 32 „ × 3 „ = 96 „
Cl. XII-a 10 „ × 2 „ = 20 „

349 ore anual, ceea ce revine la cca 2 ore zilnic. Școala are o sală de laborator pentru fizică.

Școala medie nr. 4

Cl. IX-a 15 ore × 5 clase = 75 ore
Cl. X-a 32 „ × 4 „ = 128 „
Cl. XI-a 32 „ × 4 „ = 128 „
Cl. XII-a 10 „ × 3 „ = 30 „

361 ore anual adică cca. 2 ore zilnic.
În școală se găsește o sală de laborator destinată fizicii.

Școala medie nr. 5

Cl IX-a 15 ore × 7 case = 105 ore
Cl. X-a 32 „ × 7 „ = 224 „
Cl. XI-a 32 „ × 7 „ = 224 „
Cl. XII-a 10 „ × 6 „ = 60 „

553 ore anual, adică aproape 3 ore zilnic.
Școala are o sală de laborator pe care o împarte cu chimia.

La Mediaș școala medie nr. 2

Cl. IX-a 15 ore × 5 clase = 75 ore
Cl. X-a 32 „ × 5 „ = 160 „
Cl. XI-a 32 „ × 5 „ = 160 „
Cl. XII-a 10 „ × 4 „ = 40 „

435 ore anual, adică 2 ore zilnic.

Școala are o sală de laborator.
În școala medie nr. 1 din Mediaș cursul de zi are o singură serie de clase. În schimb, la seral sînt 7—8 clase paralele. Școala are de asemenea o sală de laborator.

Din acest calcul rezultă că laboratoarele școlilor vor fi ocupate cu lecții de lucrări practice zilnic 2—3 ore. La aceste ore trebuie să mai adăugăm pe acelea cu demonstrații — care nu se pot desfășura altfel decît în sala de fizică, ore care sînt în număr covîrșitor mai mare decît cele de lucrări, dacă luăm iarăși în seamă clasele paralele și clasele de schimb de la seral.

Rezultă că o singură sală pentru fizică pe școală este cu totul insuficientă și pentru motivul că e foarte greu ca lucrările instalate să fie mereu demonstrate și aparatele introduse în dulapuri, astfel ca sala să fie transformată în sală de curs. Succesiunea orelor în orar nu permit acest lucru.

E strict necesar să existe cel puțin 2 săli de fizică : una cu lucrări instalate (care urmează să se desfășoare după metoda individuală) și o a 2-a care să servească pentru lecțiile de demonstrații

Și în aceste condiții rămîne deschisă problema lucrărilor frontale, care trebuiesc mereu instalate, demontate și reinstalate în cîte 10 exemplare cel puțin, astfel încît numărul elevilor dintr-o grupă să nu treacă cifra 4 (în măsura posibilităților).

Un laborator care să satisfacă noilor cerințe ale învățămîntului necesită și laboranți bine instruiți care să-i poată fi profesorului de un real sprijin. Laboranților li se cere nu numai îndemînare în probleme de tehnica lucrărilor ci și un cuantum de cunoștințe de fizică, o înțelegere a scopului instalațiilor. Pentru aceasta laboranții trebuie să fie calificați ; ne permitem a sugera înființarea dacă nu a unor școli tehnice speciale cel puțin a unor cursuri de pregătire a laboranților.

Lăsăm în discuția consfătuirii problema alcătuirii unui asemenea orar încît să poată realiza demontarea și repunerea în funcțiune a lucrărilor frontale pentru clase diferite paralele și pe verticală. Dificultățile sînt mari întrucît cere cheltuiala unui număr mare de ore din partea profesorului.

Cu răbdare cu pricepere și mai ales cu strădanie entuziastă putem spera că, pe măsura acumulării experienței didactice să ne putem apropia de satisfacerea cerințelor noii programe în predarea fizicii în școala medie.

ASUPRA ANALOGIILOR MECANOOPTICE HAMILTON-SCHRÖDINGER

ION MIHAI-MARINESCU, Iași

I

Introducere

Din punct de vedere istoric, unul din primele procedee pe baza cărora s-a fundamentat mecanica cuantică nerelativistă l-au constituit analogiile dintre optica geometrică și mecanica analitică semnalate încă din prima jumătate a secolului trecut de către Hamilton și continuate apoi pentru optica ondulatorie de Schrödinger care a fost condus la a admite existența

unei mecanici pe care el a numit-o mecanică ondulatorie. Denumirea de mecanică ondulatorie, astăzi nu se mai întrebuinţează după cum nu se mai întrebuinţează nici denumirea de mecanică matricială la care a fost condus Heisenberg. După cum se ştie, termenul uzual este acela de mecanică cuantică.

Deşi procedeele care ne conduc la geneza mecanicii cuantice nerelativiste nu mai au actualmente decît o importanţă istorică, este evident că pentru a expune modul cum a apărut mecanica cuantică nerelativistă fie sub forma de Broglie-Schrödinger fie sub forma matricială Heisenberg sau aceea mai generală a lui Dirac, este necesar să recurgem la expunerea unuia din aceste procedee.

După cum am mai spus, unul din aceste procedee l-a constituit analogiile hamiltoniene dintre optica geometrică şi mecanica analitică Consider că aceste analogii trebuie să fie corecte, adică în consideraţiile pe care le facem să nu fim induşi în eroare de unele pseudoanologii care cîteodată ne pot duce la concluzii adevărate dar ne pot şi înşela. Nu se poate obiecta nimic asupra analogiilor hamiltoniene dintre optica geometrică şi mecanica analitică.

În cele ce urmează se arată că analogiile dintre mecanica analitică şi optica geometrică continuate de Schrödinger în optica ondulatorie care l-au dus la organizarea structurii matematice a mecanicii ondulatorii nu au fost urmate în mod consecvent în toate punctele sale.

În acest articol se pune în principiu corespondenţa consecventă dintre mecanica analitică şi optica geometrică astfel încît metodele de trecere formală dela optica geometrică la optica fizică pe de o parte şi dela mecanica analitică la mecanica ondulatorie pe de altă să fie perfect identice din punct de vedere al formalismului matematic.

II

După cum am menţionat, între mecanica analitică şi optica geometrică există, din punct de vedere analitic analogii care au fost semnalate pentru prima dată de Hamilton şi continuate de Schrödinger în ce priveşte corespondenţa dintre optica fizică şi mecanica ondulatorie, extinzînd astfel cadrul mecanicii printr-un corespondent mecanic al opticii fizice pe care l-a denumit mecanică ondulatorie.

Însă, procedeele matematice prin care Schrödinger ajunge la mecanica ondulatorie se pretează la anumite obiecţii în ceea ce priveşte respectarea continuităţii analogiilor hamiltoniene, după cum vom vedea numaidecît.

Observaţiile critice de care am vorbit, le voi face relativ la procedeul întrebuinţat de Schrödinger pentru a face tranziţia dela mecanica analitică la mecanica ondulatorie prin analogie analitică cu procedeul indicat de Debye spre a trece dela optica geometrică la optica fizică.

Voi face aceste observaţii critice cu privire la continuitatea consecventă a analogiilor dintre optică şi mecanică: continuitatea pe care Schrödinger se pare că nu a respectat-o, deoarece, după cum vom vedea, trecerea formală pe care a indicat-o nu este în realitate legată de un corespondent mecanic asociat trecerii formale de la optica geometrică la optica fizică cel puţin în sensul lui Debye.

Nu este vorba de a contesta exactitatea mecanicii ondulatorii a lui Schrödinger sub forma nerelativistă pe care i-a dat-o la început, exactitate care s-a verificat cu prisosinţă prin multiplele aplicaţii bine cunoscute ce s-au dat mecanicii ondulatorii. Este vorba numai de o verificare a

procedeului matematic în vederea restabilirii analogiilor hamiltoniene; dar restabilirea aceasta a analogiilor hamiltoniene nu este, după cum vom vedea lipsită de consecinţe.

Înainte de a insista mai mult asupra acestor critici, să expunem procedeul, inclusiv acela de trecere formală întrebuinţat de Schrödinger, pe de o parte, şi procedeul lui Debye pe de alta. Să începem cu primul; pentru aceasta, să considerăm ecuaţia undelor din optica fizică

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} - \frac{1}{u^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = 0 \qquad (1)$$

sau

$$\Delta \psi - \frac{1}{u^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = 0$$

unde Δ reprezintă operatorul lui Laplace adică $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial^2 y} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$.

Ecuaţia cu derivate parţiale (1) este omogenă şi de ordinul al doilea unde ψ reprezintă o funcţie vectorială ce defineşte un cîmp electromagnetic în propagare cu viteza u într-un mediu continuu şi omogen. În cazul cînd mediul nu este omogen, este o funcţie de poziţie $u = u(x, y, z)$. În cazul cînd mediul este nedefinit, expresia

$$\psi = a\, e^{2\pi i \varphi_\nu} \qquad (1')$$

ori forma reală sub care se poate de asemenea prezenta ca soluţie a ecuaţiei (1) adică

$$\psi = a \cos 2\pi \varphi_\nu \qquad (1'')$$

constituie o integrală a ecuaţiei undelor (1) şi reprezintă o funcţie de undă monocromatică unde

$$\varphi_\nu = \varphi_\nu (x, y, z;\ \alpha_2, \alpha_2, \alpha_3;\ t, \nu) = \varphi^* - \nu t \qquad (1''')$$

poartă numele de faza undei electromagnetice, reprezintă frecvenţa iar $a = a\,(x, y, z)$ amplitudinea.

Schrödinger trece dela ecuaţia (1) la corespondentul mecanic al ei adică la ecuaţia undelor mecanice corespunzătoare mecanicii ondulatorii, introducînd în ecuaţia (1) în locul vitezei u a undelor optice, viteza u_m a undelor mecanice dată de expresia

$$u_m = \frac{E}{\sqrt{2m(E-V)}} = \frac{E}{p}$$

unde E, V, m şi p reprezintă respectiv energia totală, energia potenţială, masa şi cantitatea de mişcare sau impulsul microparticulei. Avînd în vedere relaţia fundamentală a lui Planck

$$E = h\nu$$

şi notînd cu Δ operatorul lui Laplace

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

se obține ecuația undelor mecanice sub forma

$$\Delta \Psi - \frac{2m(E-V)}{h^2 \nu^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} = 0 \tag{2}$$

corespunzătoare ecuației undelor (1) din optica fizică.

O integrală particulară a ecuației (2) se poate pune sub forma

$$\Psi = A(x, y, z)\, e^{2\pi i \left[\frac{1}{\lambda_n} (\vec{r}, \vec{N}) - \nu t\right]} \tag{2'}$$

unde N este normala (α, β, γ) iar r raza vectoare (x, y, z). Făcînd substituția

$$\Psi = U(x, y, z)\, e^{-2\pi i \nu t}$$

în ecuația (2) se obține ecuația lui Schrödinger

$$\Delta U + \frac{2\pi^2 m}{h^2} (E - V)\, U = 0 \tag{3}$$

Pentru a avea o trecere formală dela mecanica analitică la mecanica ondulatorie, să considerăm ecuația Hamilton -Jacobi sub care se poate sintetiza întreaga mecanică analitică sub forma

$$\frac{1}{2m}\left[\left(\frac{\partial S^*}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial S^*}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial S^*}{\partial z}\right)^2\right] + V = E \tag{4}$$

unde S^* reprezintă funcția caracteristică a lui Hamilton dată de expresia

$$S(q^k, q_0^k; t) = S^*(q^k, q_0^k) - E t \tag{5}$$

dacă microparticula se mișcă într-un cîmp conservativ, cu alte cuvinte dacă există o integrală primă a energiei totale E.

Pe de altă parte, acțiunea lui Hamilton este dată de expresia extremală următoare:

$$S = \int_{t_2}^{t_1} L\, dt \tag{5'}$$

unde $L = T - V$ reprezintă potențialul cinetic sau funcția lui Lagrange S^* ca și S fiind scalar, ecuația (4) Hamilton-Jacobi se mai poate scrie

$$\frac{1}{2m} |\overrightarrow{\text{grad}}\, S^*|^2 + V = E \tag{6}$$

Deoarece din (5) și (5^1) rezultă

$$\frac{\partial S}{\partial x} = \frac{\partial S^*}{\partial x} = p_x; \quad \frac{\partial S}{\partial y} = \frac{\partial S^*}{\partial y} = p_y; \quad \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial S^*}{\partial z} = p_z \tag{6}$$

p_x, p_y, p_z fiind proecțiile cantității de mișcare respectiv pe axele x, y, z se poate trece dela ecuația Hamilton-Iacobi (4) sau (6) la ecuația (3) a lui Schrödinger prin procedeul formal următor:

Să utilizăm operatorul vectorial (nabla) de componente

$$\nabla_x = \frac{\partial}{\partial x}; \quad \Delta_y = \frac{\partial}{\partial y}; \quad \Delta_z = \frac{\partial}{\partial z}.$$

Acest operator fiind astfel definit, substituţia

$$\text{grad } S^k \to \frac{h}{2\pi i} \Delta$$

efectuată în ecuaţia (6) ne conduce la operatorul

$$\frac{1}{2m}\left(\frac{h}{2\pi i}\right)^2 \Delta + V \tag{7}$$

unde Δ este, după cum se notează de obicei, operatorul lui Laplace

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}.$$

Aplicînd operatorul (7) funcţiei U (x, y, z) şi egalînd rezultatul cu E U, obţinem ecuaţie lui Schrödinger (3). Sau, ţinînd seama de relaţiile (6′) ecuaţia (4) se mai poate scrie

$$\frac{1}{2m}(p_x^2 + p_y^2 + p_z^2) + V = E. \tag{7′}$$

Făcînd substituţiile în primul membru al ecuaţiei (7) adică

$$p_x \to \frac{h}{2\pi i}\frac{\partial}{\partial x}; \quad p_y \to \frac{h}{2\pi i}\frac{\partial}{\partial y}; \quad p_z \to \frac{h}{2\pi i}\frac{\partial}{\partial z} \tag{7″}$$

obţinem operatorul (7).

Să revenim acum la optică şi să examinăm procedeul formal de trecere dela optica geometrică la optica ondulatorie, procedeu care de altfel a inspirat pe Schrödinger să preconizeze şi pentru mecanică o substituţie formală, aceea pe care am văzut-o mai sus.

Să revenim acum la procedeul formal al lui Debye din optică. În optica geometrică, faza perturbaţiei luminoase e dată de ecuaţia

$$\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z}\right)^2 = \frac{1}{u^2}\left(\frac{\partial \varphi}{\partial t}\right)^2 \tag{8}$$

care este o ecuaţie cu derivate parţiale omogenă şi de ordinul întîi numită ecuaţia fazelor u reprezintă viteza cu care se propagă suprafaţa de egală fază a undei luminoase. O integrală a ecuaţiei fazelor (8) este

$$\varphi(P, \alpha_k, t) = \varphi(x, y, z; \quad \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3; \quad t) = F(P, \alpha_k) - ct$$

unde $F(P, \alpha_k)$ reprezintă funcţia eicouală caracteristică a lui Hamilton şi c viteza luminii în vid.

Expresia (9) reprezintă faza corespunzătoare suprafeţelor eicouale definite prin relaţia

$$F(P, \alpha_k) = C$$

Înlocuind în ecuația fazelor (8) derivatele

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x}; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial y}; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial z}; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial t}$$

prin operatorii corespunzători adică

$$\nabla_x = \frac{\partial}{\partial x}; \quad \nabla_y = \frac{\partial}{\partial y}; \quad \nabla_z = \frac{\partial}{\partial z}; \quad \nabla_t = \frac{\partial}{\partial t}$$

obținem operatorul

$$\Box = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - \frac{1}{u^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2} = \Delta - \frac{1}{u^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2}$$

al lui d'Alembert care dacă îl aplicăm funcției φ și egalînd rezultatul cu zero, obținem ecuația (1) din optica fizică adică

$$\Delta\psi - \frac{1}{u^2}\frac{\partial^2 \psi}{\delta t^2} = 0.$$

Între procedeul formal de trecere dela optica geometrică la optica ondulatorie indicat de Debye și acela de trecere dela mecanica analitică la mecanica ondulatorie indicat de Schrödinger există deosebiri pe care le vom semnala și anume :

a) Pe cînd procedeul lui Debye este necesar, procedeul formal al lui Schrödinger este utilizat a posteriori neavînd caracterul de necesitate, mai mult în scopul de a restabili o analogie analitică dintre cele două treceri formale.

b) Între cele două treceri formale nu există analogie analitică în sensul lui Hamilton.

c) Sîntem, prin urmare, în prezența unui impas al analogiilor hamiltoniene, impas care a fost pus în seama deosebirii de structură analitică dintre ecuația fazelor (8)

$$\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z}\right)^2 = \frac{1}{u^2}\left(\frac{\partial \varphi}{\partial t}\right)^2$$

care prezintă o simetrie spațiotemporală fiind de gradul al doilea față de derivata lui φ în raport cu t și ecuația Hamilton-Iacobi (4)

$$\frac{1}{2m}\left[\left(\frac{\partial S^*}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial S^*}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial S^*}{\partial z}\right)^2\right] + V = E$$

care, ținînd seama de relația (5)

$$S\,(q^k, q_0^k;\ t) = S^*\,(q^k, q_0^k) - Et$$

se poate scrie

$$\frac{1}{2m}\left[\left(\frac{\partial S}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial z}\right)^2\right] + \frac{\partial S}{\partial t} + V = 0 \tag{10}$$

de unde se vede că derivata lui S în raport cu t fiind la gradul întîi, este lipsită de simetria spațiotemporală de care e dotată ecuația fazelor. Din cauza acestui impas, s-au invocat, printre altele, deosebiri între undele

optice şi cele mecanice. Fireşte că deosebiri între aceste două categorii de unde există, deşi în unele cazuri o distincţie netă între ele devine destul de delicată, dar în nici un caz nu se poate invoca motivul deosebirii de structură analitică dintre ecuaţia fazelor din optica geometrică şi ecuaţia Hamilton-Iacobi, după cum vom vedea mai departe.

În cele ce urmează voi demonstra că în realitate impasul analogiilor hamiltoniene de care am vorbit pînă acum nu este decît aparent iar el se datoreşte faptului că iniţial s-a plecat pentru continuarea analogiilor dela două relaţii-ecuaţia fazelor şi ecuaţia Hamilton-Iacobi a căror deosebire de structură analitică era deja recunoscută; nu ecuaţiile (8) şi (4) trebuiesc comparate, asemănarea lor nefiind decît parţială.

În consecinţă analogiile hamiltoniene în chestiune nu se pot stabili decît:

a) Dacă găsim un corespondent mecanic al ecuaţiei fazelor. Atunci trecerii formale a lui Debye i se va găsi un corespondent mecanic.

b) Dacă găsim un corespondent optic al ecuaţiei Hamilton-Iacobi. În cazul acesta, trecerii formale a lui Schrödinger i se va găsi un corespondent optic care va duce la ecuaţia undelor optice scrisă sub o formă ce corespunde ecuaţiei lui Schrödinger din mecanica ondulatorie.

Într-adevăr, ţinînd seama de expresia

$$T = \frac{1}{2m} p^2$$

dintre energia cinetică T masa m şi impulsul p ale microparticulei precum şi de relaţiile (6'), ecuaţia Hamilton-Iacobi (4) se va scrie

$$\left(\frac{\partial S}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial t}\right)^2 = p^2$$

iar avînd în vedere expresia vitezei de fază u_m a undelor materiale

$$u_m = \frac{E}{\sqrt{2m(E-V)}} = \frac{E}{p}$$

vom obţine

$$\left(\frac{\partial S}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial t}\right)^2 = \frac{1}{u_m^2} E^2 \qquad (11)$$

Ţinînd apoi seama de expresia (5)

$$S(q^k, q_0^k; \quad t) = S(q^k, q_0^k) - Et$$

a acţiunii lui Jacobi, obţinem derivînd relaţia precedentă membru cu membru în raport cu t

$$\frac{\partial S}{\partial t} = -E. \qquad (12)$$

Din eliminarea lui E între ecuaţiile (11) şi (12) deducem

$$\left(\frac{\partial S}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial z}\right)^2 = \frac{1}{u_m^2}\left(\frac{\partial S}{\partial t}\right)^2. \qquad (13)$$

Ecuația (13) reprezintă veritabilul corespondent mecanic al ecuației fazelor (8) din optica geometrică și exprimă „faza" cu care se propagă suprafețele de egală acțiune definite de expresia

$$S^* (q^k, q_0^x) = C.$$

Ea prezintă, ca și ecuația fazelor din optica geometrică, o simetrie spațio-temporală, derivata lui S în raport cu t fiind la gradul al doilea. Spre deosebire de ecuația Hamilton-Iacobi (4) sau (10), formal este identică cu ecuația fazelor (8).

Atunci, trecerea formală dela mecanica analitică-reprezentată acum prin ecuația (13) a fazelor undelor materiale în locul ecuației Hamilton-Iacobi va deveni identică cu aceea indicată de Debye pentru a face tranziția dela optica geometrică la optica fizică. Pentru aceasta, nu avem decît să înlocuim în ecuația (13) derivatele parțiale

$$\frac{\partial S}{\partial x}; \quad \frac{\partial S}{\partial y}; \quad \frac{\partial S}{\partial z}; \quad \frac{\partial S}{\partial t}$$

prin componentele corespunzătoare ale operatorului ∇ adică

$$\nabla_x = \frac{\partial}{\partial x}; \quad \nabla_y = \frac{\partial}{\partial y}; \quad \nabla_z = \frac{\partial}{\partial z}; \quad \nabla_t = \frac{\partial}{\partial t}$$

și se obține astfel operatorul lui d'Alembert

$$\Box = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - \frac{1}{u_m^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2}$$

căruia aplicîndu-i funcția Ψ și egalînd apoi cu zero expresia obținută, ajungem la ecuația undelor mecanice (2) adică

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} - \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} = 0$$

sau

$$\Delta \Psi - \frac{1}{u_m^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} = 0$$

care se mai poate scrie

$$\Delta \Psi - \frac{2m(E-V)}{h^2 \nu^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} = 0$$

După cum vedem, procedeul acesta de tranziție formală pe care l-am utilizat în mecanică este absolut identic cu acela din optică întrebuințat de Debye.

Voi indica mai jos un procedeu formal-care se aplică indiferent în optică sau în mecanică — prin care putem obține după voie fie ecuația undelor fie ecuația fazelor, obținerea uneia sau alteia depinzînd de ordinea în care se efectuează operațiile.

Într-adevăr, să considerăm egalitatea vectorială simbolică

$$\vec{\nabla}_x + \vec{\nabla}_y + \vec{\nabla}_t = \frac{1}{u} \vec{\nabla}_t \qquad (14)$$

unde u reprezintă, pentru a preciza ideile, viteza de fază a undelor optice, iar membrul întîi și al doilea al egalității simbolice precedente fiind operatori rezultînd din componentele

$$\vec{\nabla}_x = \frac{\vec{\partial}}{\partial x}; \quad \vec{\nabla}_y = \frac{\vec{\partial}}{\partial y}; \quad \nabla_z = \frac{\vec{\partial}}{\partial z}; \quad \nabla_t = \frac{\vec{\partial}}{\partial t}.$$

Se pot considera două cazuri și anume:

a) Aplicăm operatorilor din membrii întîi și al doilea respectiv ai egalității simbolice (14) funcția și obținem astfel egalitatea vectorială

$$\vec{\nabla}_x \varphi + \vec{\nabla}_y \varphi + \vec{\nabla}_z \varphi = \frac{1}{u} \vec{\nabla}_t \varphi$$

sau

$$\frac{\vec{\partial}\varphi}{\partial x} + \frac{\vec{\partial}\varphi}{\partial y} + \frac{\vec{\partial}\varphi}{\partial z} = \frac{1}{u} \frac{\vec{\partial}\varphi}{\partial t} \tag{14'}$$

care scrisă analitic devine

$$\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z}\right)^2 = \frac{1}{u^2}\left(\frac{\partial \varphi}{\partial t}\right)^2 \tag{15}$$

Ecuația (15) nu este alta decît ecuația fazelor (8) din optica geometrică.

b) Scriem analitic egalitatea vectorială simbolică (14) și obținem

$$\nabla_x^2 + \nabla_y^2 + \nabla_z^2 = \frac{1}{u^2} \nabla_t^2$$

sau

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} = \frac{1}{u^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2}. \tag{15'}$$

Aplicînd acestei din urmă egalități simbolice, adică operatorilor din ambii membrii funcția ψ obținem

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = \frac{1}{u^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}$$

sau

$$\Delta \psi = \frac{1}{u^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}$$

care este ecuația (1) a undelor optice.

Procedeul, după cum am spus se aplică și în mecanică numai că în acest caz trebuie să înlocuim egalitatea vectorială (14) în care figurează viteza de fază a undelor optice, prin egalitatea vectorială simbolică

în care figurează viteza de fază a undelor materiale u_m iar funcțiile φ și ψ trebuiesc înlocuite respectiv prin mărimile mecanice S și Ψ^*

După cum am mai spus și cu altă ocazie, procedeul formal al lui Schrödinger ne pune în situația de a căuta un corespondent optic al ecuației Hamilton — Iacobi, corespondent care, greșit s-a crezut a fi identificat în ecuația fazelor din optica geometrică. Însă pentru a avea un corespondent analitic veritabil în sensul analogiilor preconizate de Hamilton nu e suficient ca ecuațiile care se compară să prezinte asemănări formale necomplete, adică numai din anumite puncte de vedere, ci totale, mărimile optice deosebindu-se de cele mecanice numai prin dimensiuni.

---

*) Egalitatea vectorială (14') sau egalitatea vectorială simbolică (14) se pot scrie analitic ridicîndu-sle scalar la patrat membru cu membru. Egalitatea (14') ridicată scolar la patrat devine :

$$\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x},\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right)+\left(\frac{\partial\varphi}{\partial y},\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right)+\left(\frac{\partial\varphi}{\partial z},\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)+2\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x},\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right)+2\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x},\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)+$$

$$+2\left(\frac{\partial\varphi}{\partial y},\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)=\left(\frac{1}{u}\frac{\partial\varphi}{\partial t}\right)^2$$

unde parantezele reprezintă produse scalare. Ținînd seama de expresiile scalare ale produselor din paranteze, adică :

$$\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x},\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right)=\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right)^2\cos\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x},\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right);\quad \left(\frac{\partial\varphi}{\partial y},\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right)=\left(\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right)^2\cos\left(\frac{\partial\varphi}{\partial y},\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right);$$

$$\left(\frac{\partial\varphi}{\partial z},\frac{\partial\varphi}{\partial t}\right)=\left(\frac{\partial\varphi}{\partial t}\right)^2\cos\left(\frac{\partial\varphi}{\partial z},\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)\quad \left(\frac{\partial\varphi}{\partial x},\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right)=\frac{\partial\varphi}{\partial x}\frac{\partial\varphi}{\partial y}\cos\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x},\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right);$$

$$\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x},\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)=\frac{\partial\varphi}{\partial x}\frac{\partial\varphi}{\partial z}\cos\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x},\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right);\quad \left(\frac{\partial\varphi}{\partial y},\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)=\frac{\partial\varphi}{\partial y}\frac{\partial\varphi}{\partial z}\cos\left(\frac{\partial\varphi}{\partial y},\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)$$

unde unghiurile $\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x},\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right)$, $\left(\frac{\partial\varphi}{\partial y},\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right)$, $\left(\frac{\partial\varphi}{\partial z},\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)$ sînt nule iar unghiurile $\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x},\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right)$, $\left(\frac{\partial\varphi}{\partial y},\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)$, $\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x},\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)$ egale cu $\frac{\pi}{2}$ obținem $\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)^2=\frac{1}{u^2}\left(\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)^2$.

Pentru egalitatea simbolică (14), procedăm absolut la fel considerînd vectorii simbolici $\frac{\partial}{\partial x},\frac{\partial}{\partial y},\frac{\partial}{\partial z}$ ca fiind perpendiculari între ei și obținem egalitatea simbolică (15').

TEOREMA TORSORULUI PENTRU CALCULUL EFECTELOR DINAMICE ALE ACCELERAȚIILOR DE ORDINUL AL DOILEA

AMEDEU ORĂNESCU

1. După cum se știe, cercetările făcute în ultimul timp pe plan mondial, în ce privește efectul dinamic al accelerațiilor de ordin superior, au impus dezvoltarea unei cinematici corespunzătoare. Și în această direcție țara noastră este strălucit reprezentată de către școala de mecanică din Iași, condusă de Prof. Dr. Dumitru Mangeron, ale cărei comunicări sînt luate ca bază de studiu pretutindeni, începînd cu lucrările [1], [2] și similarele.

Ținînd cont că tehnica vitezelor mari se manifestă astăzi pe un vast cîmp, de la vehiculele propulsate prin reacție la oscilațiile resoartelor, se impune reconsiderarea întregii dinamicii clasice din punctul de vedere al efectelor dinamice ale accelerațiilor de ordin superior, așa cum s-a procedat și în cinematică [1], [2], [4]

În lucrarea prezentă se recoltează teorema torsorului (teorema impulsului și teorema momentului cinetic), pentru cazul solidului în mișcarea plan-paralelă.

Avînd în vedere că acest studiu este în primul rînd legat de aplicarea la calculul dinamic al mecanismelor, se va impune și condiția suplimentară — acceptată totdeauna în teoria mecanismelor — că corpul considerat are un plan de simetrie paralel cu planul de mișcare.

În consecință, două momente de inerție centrifugale, față de axele legate de corp și trecînd prin c. d. g., sînt nule, fapt care în afară de simplificarea calculativă adusă, ușurează și aplicațiile practice (ca de ex., în probleme de echilibrare a forțelor de inerție).

2.1 Se vor da mai jos relațiile de bază, pentru calculul teoremei torsorului.

Accelerația de ordinul n, definită în [1] și [2] în funcție de raza vectoare, prin :

(1) $\bar{a}^n = \dfrac{d\bar{r}^{n+1}}{dt}$, poate fi calculată prin recurență, prin relațiile date în lucrările citate, în cantități complexe.

Dacă se limitează studiul numai pînă la ordinul al doilea (inclusiv), s-a propus în [3] ca forță de inerție asupra punctului material, forța dată de relația :

(2) $F_i = -m\left(\ddot{\bar{r}} + \dfrac{\lambda}{\omega}\dddot{\bar{r}}\right)$, unde prin m s-a notat masa punctului material, prin $\bar{r}$ raza vectoare a punctului material, considerată de la o origine oarecare fixă, prin λ un coeficient adimensional, de care aparține punctul material.

Se vede deci că la forța de inerție clasică $-m\ddot{\bar{r}}$ se adaugă termenul $-m\dfrac{\lambda}{\omega}\dddot{\bar{r}}$, al cărui modul este proporțional cu λ.

2.2. Dacă se admite și aici teorema torsorului, sub forma clasică :

(3) $\dfrac{d\bar{H}}{dt} = F$, (4) $\dfrac{d\bar{K}}{dt} = \bar{M} = \bar{r} \times \bar{F}$, unde $\bar{F} = -\bar{F}_i$ din relația (2),

rezultă prin integrare expresia impulsului $\overline{H}$ și a momentului cinetic $\overline{K}$:

(5) $\overline{H} = m\overline{V} + \lambda m\int\frac{d\overline{a}}{\omega}$; (6) $\overline{K} = \overline{r}\times m\overline{V} + \lambda\int\overline{r}\times m\frac{d\overline{a}}{\omega}$ unde s-a notat $a = \ddot{\overline{r}}$ (accelerația obișnuită; de ordinul 1)

Se observă în relațiile (5) și (6) că dacă se face $\lambda = 0$, se regăsesc expresiile clasice.

2.3. Teorema impulsului pentru sistemele de puncte materiale, se scrie:

(7) $\overline{H} = \Sigma\overline{V}_i m_i + \Sigma\left(\lambda m_i\int\frac{d\overline{a}}{\omega}\right)$ și se notează $\overline{H}' = \Sigma\left(m_i\int\frac{d\overline{a}_i}{\omega}\right) =$

$$= \Sigma\left(m_i\int\frac{1}{\omega}\frac{d\overline{a}_i}{dt}dt\right)$$

Dacă se înlocuiește accelerația a_M în funcție de accelerația originei sistemului mobil, presupusă în c. d. g (pentru simplificare sistemul de axe mobil nu a mai fost desenat în figură), se obține:

$$\overline{a}_M = \overline{a}_i = a_c + \dot{\overline{\omega}}\times r_i - \omega^2 r_i \text{ și } d\overline{a}_i = d\overline{a}_c + d\dot{\overline{\omega}}\times\overline{r}_i + \dot{\overline{\omega}}\times d\overline{r}_i - 2\omega\, d\omega\,\overline{r}_i - \omega^2 d\overline{r}_i$$

Rezultă: $\frac{d\overline{H}'}{dt} = \frac{1}{\omega}\Sigma\frac{d\overline{a}_i}{dt}m_i = \frac{1}{\overline{\omega}}\Sigma\left(\frac{d\overline{a}_c}{dt} + \frac{d\dot{\overline{\omega}}}{dt}\times\overline{r}_i + \dot{\overline{\omega}}\times\right.$

$$\left.\times\frac{d\overline{r}_i}{dt} - 2\omega\frac{d\overline{\omega}}{dt}\overline{r}_i - \omega^2\frac{d\overline{r}_i}{dt}\right)m_i.$$

Se mai înlocuiește apoi $\frac{d\overline{r}_i}{dt} = \overline{\omega}\times\overline{r}_i$, și observîndu-se că termenii care cuprind în factor $\Sigma m_i\overline{r}_i$ sînt nuli, se fac transformările simple și se obține:

$$\frac{d\overline{H}'}{dt} = \frac{M}{\omega}\frac{d\overline{a}_c}{dt},$$

unde s-a notat $M = \Sigma m_i$.

Dacă se revine la expresia (7) a impulsului total, se obține:

(8) $$\frac{d\overline{H}}{dt} = M\overline{a}_c + \frac{\lambda}{\omega}M\frac{d\overline{a}_c}{dt}.$$

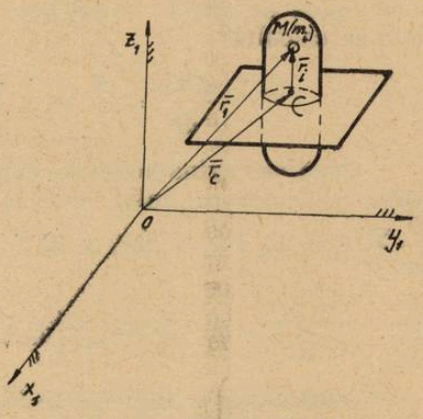


Fig. 1

Relația (8) arată că teorema centrului de greutate rămîne valabilă și în cazul cînd se ține seama și de forța de inerție de ordinul al doilea.

2.4. Pe baza relației (6) rezultă momentul cinetic la sistemele de puncte materiale, față de originea O.

(9) $$\overline{K}_0 = \Sigma\,\overline{r}_1\times m_i\overline{V}_M + \left(\Sigma\,\lambda\int\overline{r}_1\times\frac{m_i}{\omega}\frac{d\overline{a}_M}{dt}dt\right).$$

Se notează și aici:

$$\overline{K}_0' = \sum \left(\int \bar{r}_1 \times \frac{m_i}{\omega} \frac{d\bar{a}_M}{dt} dt \right), \text{ de unde rezultă:}$$

$$\frac{d\overline{K}_0'}{dt} = \frac{1}{\omega} \sum \bar{r}_1 \times m_i \frac{d\bar{a}_i}{dt}. \tag{10}$$

În afară de înlocuirea expresiei $\frac{d\bar{a}_i}{dt}$ ca mai sus, se mai face înlocuirea $\bar{r}_1 = \bar{r}_c + \bar{r}_i$ și se obține prin transformări simple:

$$\frac{d\overline{K}_0'}{dt} = \frac{1}{\omega} M\bar{r}_c \times \frac{d\bar{a}_c}{dt} + \frac{1}{\omega} \bar{r}_c \times \left(\bar{\omega} \times \sum \frac{d\bar{r}_i}{dt} m_i \right) -$$

$$- \bar{r}_c \omega \times \frac{d\bar{r}_i}{dt} m_i + \frac{1}{\omega} \sum \left[\bar{r}_i \times \frac{d\dot{\bar{\omega}}}{dt} \times \bar{r}_i \right] m_i +$$

$$+ \sum \left[\bar{r}_i \times \left(\dot{\bar{\omega}} \times \frac{d\bar{r}_i}{dt} \right) \right] m_i - \omega \sum \left(r_i \times \frac{d\bar{r}_i}{dt} \right) m_i.$$

Ca și mai sus, se înlocuiește $\frac{d\bar{r}_i}{dt}$, se desfac produsele vectoriale duble și se observă că: $\bar{\varepsilon} \cdot \bar{r}_i = \varepsilon z$, $\dot{\varepsilon} \cdot \bar{r}_i = \dot{\varepsilon} z$, $\sum r_i^2 m_i = \sum (x^2 + y^2 + z^2) m_i$ și $\sum (x^2 + y^2) m_i = I_{zz}$, unde s-a notat prin I_{zz} momentul de inerție al corpului față de o axă solidară cu el, perpendiculară pe planul de mișcare și care trece prin c. d. g.

De asemeni, dacă se mai presupune că corpul studiat are un plan de simetrie paralel cu planul de mișcare (și care bineînțeles conține punctul c), adică dacă se admit condițiile $\sum xzm_i = 0$, $\sum yzm_i = 0$, rezultă efectuîndu-se calculele:

$$\frac{d\overline{K}_0'}{dt} = \frac{M}{\omega} \bar{r}_c \times \frac{d\bar{a}_c}{dt} + \left[\frac{\dot{\varepsilon}}{\omega} - \omega^2 \right) \overline{K} J_{zz}. \tag{11}$$

Dacă se revine acum la expresia totală (9) a momentului cinetic și știind valoarea primului termen, în aceleași condiții de simetrie, adică $\frac{d}{dt} \sum \bar{r}_1 \times m_i V_M = M\bar{r}_c \times \bar{a}_c + \dot{\bar{\omega}} J_{zz}$, relația (11) devine:

$$\frac{d\overline{K}_0}{dt} = \overline{M}_1 = Mr_c \times \left(\bar{a}_c + \frac{\lambda}{\omega} \dot{\bar{a}}_c \right) + \left(\dot{\omega} + \frac{\lambda}{\omega} \dot{\varepsilon} - \lambda\omega^2 \right) \overline{K} J_{zz}. \tag{12}$$

Dacă acum se înlocuiește $\overline{M}_1$ în funcție de momentul forțelor exterioare față de c.d.g.: $\overline{M}_1 + \overline{M}_c + \bar{r}_c \times \overline{F}$, cu $\overline{F}$ dat de (2), se obține:

$$\overline{M}_1 = \overline{M}_c + r_c \times \overline{F} = \overline{M}_c + \bar{r}_c \times \left(M\bar{a}_c + \frac{\lambda}{\omega} M \frac{d\bar{a}_c}{dt} \right). \tag{13}$$

Se introduce apoi această relație în (12) și se obține, după reducerile evidente:

$$\overline{M}_{ic} = - \overline{M}_c = - \left(\dot{\omega} + \frac{\lambda}{\omega} \dot{\varepsilon} - \lambda\omega^2 \right) \overline{K} J_{zz}.$$

BIBLIOTECA CENTRALĂ

3. Aşadar în concluzie, efectul inerţiei asupra solidului aflat în mişcare plan paralelă, avînd un plan de simetrie paralel cu planul de mişcare, este o forţă de inerţie dată de relaţia (8) şi aplicată în *c. d. g* şi un cuplu de inerţie aplicat în *c. d. g.*, dat de relaţia (14).

S-a văzut mai sus că dacă se face $\lambda = 0$, se regăsesc expresiile clasice cunoscute în teoria mecanismelor. Acest lucru este valabil şi pentru relaţiile (8) şi (14).

În ce priveşte determinarea cantitativă a constantei λ, metoda arătată în [3], care probat calitativ existenţa efectelor dinamice ale acceleraţiilor de ordinul al doilea, urmează a fi perfecţionată pentru găsirea valorilor lui λ cu precizie mai mare.

BIBLIOGRAFIE

[1] *D. Mangeron* şi *A. Braer.* Reprezentarea cîmpurilor de acceleraţii de ordin oarecare prin numere complexe. *Gazeta matematică şi fizică seria A nr. 10—1955.*

[2] *D. Mangeron* şi *C. Drăgan.* Aplicarea teoriei acceleraţiilor reduse de ordin oarecare, la studiul mecanismelor plane de clasa 3-a. *Bul. Inst. Polit. Iaşi Fasc. 1—2 1956.*

[3] *E.* şi *A. Orănescu.* Metodă pentru măsurarea efectelor dinamice ale acceleraţiilor de ordinul al doilea. *Bul. Instit. Pedagogic Galaţi vol. 1 1966 (în curs de apariţie). Brevet de invenţie nr. 44822/1966.*

[4] *A. Orănescu,* Asupra centroidelor de ordin superior. *Bul. Instit. Politehnic Galaţi vol. II 1966.*

REZUMAT

În lucrare se calculează efectul dinamic al acceleraţiilor de ordinul al doilea asupra solidului aflat în mişcare plană, avînd un plan de simetrie paralel cu planul de mişcare.

POŞTA REDACŢIEI

Conf. P. Sima — Braşov — Am primit lucrările trimise şi ele îşi urmează cursul obişnuit. După obţinerea referatelor de la specialiştii consultaţi vom hotărî asupra lor.

Ing. T. Dănilă — Constanţa. Lucrarea trimisă este interesantă şi sub forma rezumatului îşi va găsi loc în paginile revistei.

Asist. N. Dănişor — Bucureşti. Lucrarea Dvs. comportă unele discuţii şi în acest sens vă rugăm să treceţi pe la redacţie.

E. Dîmboiu — Braşov. Articolul intitulat „Asupra unor analogii electrice şi termice" a fost inclus în numărul 2 din 1968.

Prof. A. Bejenaru — Cîmpulung Moldovenesc. Reţinem articolul Dvs. care va fi publicat într-un număr viitor şi am dori mai substanţială colaborarea cu revista noastră.

Prof. G. Ionescu — Bucureşti. In legătură cu lucrarea Dvs. „Elemente de infrastructură nucleară" apreciem ca necesare unele discuţii pentru care ar fi bine să treceţi pe la redacţie.

★

Revenim cu o rugăminte mai veche adresată tuturor colaboratorilor de a ataşa lucrărilor pe care le trimit spre publicare adresa exactă (loc de muncă şi domiciliu) la care li se poate trimite corespondenţa şi drepturile de autor.

I.P.I. — c. 6193

43 459

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL V

2

FEBRUARIE 1968

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR, 23. RAION 16 FEBRUARIE, BUCUREȘTI–45. TELEFON 16.42.86

SUMAR

Seria A nr. 2 vol. V februarie 1968

L. Bălan, R. V. Deutsch

Zonele de radiație ale pământului 42

E. Dimboiu

Asupra unor analogii electrice și termice 52

D. Manda

Prezentarea experimentală a legilor efectului fotoelectric extern. 58

A. Ctrlănescu

Metode fizice de determinare a masei moleculare. 62

I. Chelu

Modelul electric în sport 64

D. Istok, I. J. Vasilescu

Factori și activități comune în procesul de însușire al fizicii, chimiei și matematicii la elevii claselor mici 66

L. Titratu-Moldovan, V. Berinde, V. Guzic

Variația proprietăților dielectrice — în funcție de temperatură și de frecvența curentului — a unor polimeri organici indigeni 72

Gh. Gorbănescu

Ortohidrogenul și parahidrogenul 77

COMITETUL DE REDACȚIE

Ion Agîrbiceanu, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Teodor Bohățiel**, asist. univ. — redactor; **Simion Bulgarea**, prof.; **Maria Codreanu**, prof; **Nicolae Gherbanovschi**, asist. univ. — redactor **Nicolae Martalogu**, conf. univ. **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C. Moisil**, conf. univ. **Alice Negoescu**, prof. **Ion C. Petrea** conf. univ. **Victor Sahini**, prof. univ. (m.c. Acad. Republicii Socialiste România). Redactor responsabil: **Constantin D. Albu**, lector univ.

BIBLIOTECA
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE
SERIA A
Volumul V, nr. 2 februarie 1968

ACADEMICIANUL EUGEN ANGELESCU

În ziua de 19 februarie 1968 s-a stins din viaţă, după o lungă şi grea suferinţă, Academicianul Eugen Angelescu, profesor consultant la Facultatea de Chimie a Universităţii din Bucureşti şi Vicepreşedinte al Societăţii de Ştiinţe Fizice şi Chimice din Republica Socialistă România.

Născut la 4 ianuarie 1896 în oraşul Rîmnicul Vîlcea, îşi face studiile la liceul din Craiova. După obţinerea licenţei în ştiinţe fizico-chimice la Universitatea din Bucureşti, trece doctoratul în chimie la Universitatea din Roma, în 1922.

A funcţionat în învăţămîntul superior din 1919 ca asistent, devenind în 1936 profesor şef de catedră la catedra de Chimie Organică a facultăţii de Chimie de la Universitatea din Bucureşti, funcţie pe care a păstrat-o pînă în 1966 cînd s-a pensionat. În cadrul universităţii a îndeplinit şi funcţia de Decan al Facultăţii de Chimie şi de Protector al Universităţii din Bucureşti.

Prin măestria sa didactică, prin înalta ţinută ştiinţifică a cursurilor sale, profesorul Eugen Angelescu a sădit în inima multor generaţii de chimişti dragostea şi entuziasmul pentru frumuseţile disciplinei pe care a predat-o. A fost un profesor minunat, care şi-a iubit cu pasiune profesia dăruind celor din jurul său nespus de mult.

Pornind de la ideia, care i-a călăuzit toată activitatea didactică, că „valoarea profesorului constă în bogăţia de cunoştinţe pe care le poate transmite studenţilor" profesorul Eugen Angelescu a realizat prelegeri de neuitat prin conţinutul, claritatea şi frumuseţea expunerii. Din aceiaşi fierbinte dorinţă a elaborat numeroase ediţii ale Cursului de Chimie Organică pe care îl preda, făcîndu-l să constituie un îndrumător preţuit, pentru toţi studenţii.

Ca om de ştiinţă, înarmat cu o vastă şi multilaterală cultură de specialitate, dotat cu sclipitoare putere de pătrundere, academicianul Eugen Angelescu a desfăşurat o prodigioasă activitate concretizată în peste 200 de lucrări ştiinţifice publicate în ţară şi străinătate. În munca sa ştiinţifică un loc deosebit l-a ocupat domeniul relaţiilor dintre structura şi reactivitatea combinaţiilor organice, atacînd cele mai diferite teme, dificile prin problemele teoretice şi experimentale pe care le ridicau. Un alt domeniu care l-a pasionat a fost cel al chimiei coloidale, în care a iniţiat pentru prima dată cercetări în ţara noastră. Lucrările sale, din acest din urmă domeniu, au beneficiat încă de multă vreme de o unanimă apreciere a specialiştilor din ţară şi străinătate.

În calitate de membru al Consiliului pentru răspîndirea cunoştinţelor cultural-ştiinţifice academicianul Eugen Angelescu a depus o muncă neobosită pentru popularizarea în rîndurile maselor largi a noilor realizări din domeniul chimiei.

Pentru meritele sale deosebite, legate de munca ştiinţifică şi didactică ,a fost ales membru corespondent şi apoi membru titular al Academiei Republicii Socialiste România, distins cu ordine şi medalii şi cu titlul de profesor emerit.

Om de înaltă ţinută morală, pasionat iubitor al adevărului ştiinţific, adînc legat sufleteşte de studenţii şi colaboratorii săi, academicianul Eugen Angelescu a reprezentat pentru toţi o pildă nemuritoare a erudiţiei şi a modestiei. Încetarea sa din viaţă constituie o grea pierdere pentru ştiinţa românească şi pentru toţi cei care l-au cunoscut şi preţuit.

Marele profesor şi om de ştiinţă Eugen Angelescu va fi veşnic viu în amintirea noastră, va fi culmea pe care ne vom strădui toţi să o atingem. Îi vom cinsti memoria muncind cu pasiune şi devotament aşa cum ne-a învăţat el.

ZONELE DE RADIAŢIE ALE PĂMÎNTULUI

Asist. *L. BĂLAN-BLÎNDU* şi conf. *R. V. DEUTSCH*

1. Teoria captării particulelor încărcate în cîmpul magnetic terestru.

La începutul secolului al XX-lea Stürner a elaborat teoria mişcării particulelor încărcate în cîmpul magnetic terestru. Metoda lui Stürmer e satisfăcătoare pentru particule cosmice cu energii mari, orbitele cărora în cîmpul magnetic terestru, nu sînt prea complexe.

Cu aplicabilitate mai mare este aproximaţia lui Alfven pe care o vom dezvolta în continuare.

În general, asupra unei particule încărcate, de masă m şi sarcina q, într-un cîmp electromagnetic arbitrar $\vec{E}(\vec{r}, t)$, $\vec{B}(\vec{r}, t)$, acţionează forţa Lorentz, şi, în condiţiile vitezelor nerelativiste la care ne vom referi în cele ce urmează, mişcarea ei este generată de ecuaţia lui Newton.

$$m\frac{d\vec{v}}{dt} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \qquad (1)$$

Această ecuaţie are soluţii simple în unele cazuri particulare.

Astfel, în cazul banal cînd $B = 0$ şi $\vec{E}$ este constant în spaţiu şi timp, particula se mişcă cu acceleraţia constantă $q\vec{E}/m$.

Dacă $E = 0$, acceleraţia este $(q/m)\,\vec{v} \times \vec{B}$, fiind întotdeauna perpendiculară atît pe viteza particulei cît şi pe cîmpul magnetic.

Această acceleraţie produce curbarea traiectoriei fără a schimba valoarea absolută a vitezei ; astfel cîmpul magnetic static nu poate schimba

energia cinetică a particulei. Să considerăm cîmpul magnetic constant în spațiu și timp și să descompunem viteza $\vec{v}$ într-o componentă paralelă $\vec{v}_{||}$ și una perpendiculară $\vec{v}_{\perp}$ față de $\vec{B}$. Din ecuația (1) rezultă că particula se va mișca în lungul liniilor de cîmp cu viteza constantă $\vec{v}_{||}$. În același timp însă ea va efectua și o mișcare circulară de rază ρ egală cu raza Larmor și viteza unghiulară $\omega_b = v_{\perp}/\rho$ în timpul căreia accelerația centrifugă $v_{\perp}^2/\rho$ este egală cu accelerația produsă de cîmpul magnetic $(q/m)v_{\perp} B$, rezultă

$$\omega_b = (q/m)\, B \qquad (2)$$

$$\rho = v_{\perp}/(q/m)B \qquad (3)$$

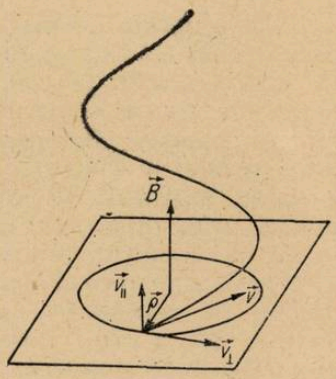


Fig. 1

Compunînd mișcarea de-a lungul liniilor de forță cu viteza $\vec{v}_{||}$ și mișcarea de rotație cu viteza $\vec{v}_{\perp}$ traiectoria particulei în cîmpul magnetic uniform are forma elicoidală (fig. 1)

Valorile lui ρ pentru particulele captate de cîmpul magnetic terestru sînt date în tabelul de mai jos.

Energia	Raza de curbură	
	Electroni	Protoni
10 Kev	87 m	3,71 Km
100 "	287 m	11,70 Km
1 Mev	1,22 Km	37,10 Km

Valorile sînt valabile pentru particulele din planul ecuatorial (latitudinea geomagnetică = 0 și unghiul față de B, $\alpha = \frac{\pi}{2}$ la distanța geocentrică de 2 raze terestre. Din tablou se vede că electronii și protonii captați se mișcă pe orbite spirale, a căror rază de rotație este cu mult mai mică decît raza pămîntului (6.371 km).

Metoda lui Alfven conchide: În prima aproximație cîmpul magnetic B se consideră perpendicular pe extremitatea razei Larmor iar schimbarea cîmpului magnetic se consideră ca o perturbare.

Alfven a considerat particulele care se mișcă pe spirală ca dipoli magnetici (curenți electrici circulari). Cîmpul magnetic mediat în timp, creat de o particulă care execută $\nu_b = \omega_b/2\pi$ turații pe secundă, este echivalent cu cel creat de curentul circular

$$i = q\, \nu_b \qquad (4)$$

Astfel, particulei îi corespunde un moment magnetic

$$\mu = \pi\rho^2 i = w_{\perp}/B \qquad (5)$$

a cărui orientare este întotdeauna antiparalelă cu cîmpul $\vec{B}$; $W_\perp = mv_\perp^2/2$ este energia cinetică a particulei care caracterizează mişcarea sa perpendiculară pe B.

Fluxul magnetic prin suprafaţa închisă de curent este

$$\Phi = \pi \rho^2 B = (2\pi m/q^2)\mu \tag{6}$$

În ecuaţiile de mai sus sarcina q în cazul electronului este egală cu e/c unde $e = 4{,}8 \times 10^{-10}$ şi $c = 3 \times 10^{10}$.

Să urmărim în continuare, comportarea particulei încărcate care se mişcă într-un cîmp magnetic variabil.

În general, cînd particulele încărcate se mişcă într-un cîmp magnetic variabil în timp sau în spaţiu, momentul lor magnetic $\mu(5)$ precum şi fluxul magnetic Φ (6) închis de orbită, rămîn constante în timpul mişcării. Aşa după cum arată S. Chandrasekhar, mărimea μ constantă numai în condiţiile unor slabe variaţii ale lui B, nu este propriuzis o integrală a mişcării ci numai un invariant adiabatic. Pentru a demonstra aceasta, să considerăm mai întîi un cîmp magnetic dependent numai de timp $B(t)$ a cărui variaţie relativă în decursul unei rotaţii este mult mai mică decît unitatea.

$$\frac{1}{B}\left|\frac{\partial \overline{B}}{\partial t}\right| \ll \frac{\omega_b}{2\pi} \tag{7}$$

Un cîmp magnetic variabil dă însă naştere la un cîmp electric dat de

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \overline{B}}{\partial t} \tag{8}$$

şi care în timpul unei rotaţii, schimbă energia cinetică transversală a particulei cu cantitatea

$$\Delta w_\perp = q \oint \vec{E}\, d\bar{s} = q \int \nabla \times \vec{E} \cdot d\bar{s} = -q \int \frac{\partial B}{\partial t}\, d\bar{s} \tag{9}$$

unde ds — elementul liniar de-a lungul traiectoriei, iar dS — elementul din suprafaţa înconjurată de traiectorie. În virtutea ecuaţiei (7) $\partial \overline{B}/\partial t$ rămîne practic constant în timpul unei rotaţii astfel că poate fi scos de sub semnul integralei. Rezultă

$$\Delta w_\perp = q\, \Delta B \frac{\omega_b}{2\pi} \pi \rho^2 = \frac{w_\perp}{B} \Delta B \tag{10}$$

sau $\Delta(w_\perp/B) = 0$ adică $\mu = w_\perp/B =$ constant.

Să considerăm acum mişcarea într-un cîmp magnetic constant în timp dar uşor variabil în spaţiu astfel că

$$\frac{1}{B}|(\vec{\rho} \cdot \nabla)\overline{B}| \ll 1 \tag{11}$$

unde

$$\vec{\rho} = \frac{m}{q} \cdot \frac{\vec{v} \times \overline{B}}{B^2} \tag{12}$$

este raza de giraţie. Tensorul $\nabla \vec{B}$ are nouă componente $\partial B_i/\partial_j$ $(i, j = x, y, z)$ dintre care, datorită ecuaţiei suplimentare $\nabla \vec{B} = 0$ numai

opt sînt independente. Să considerăm pe rînd influenţa componentelor tensorului $\nabla \vec{B}$ asupra mişcării.

Presupunem diferite de zero numai $\partial B_{\perp x}/\partial_{\perp x}$ şi $\partial B_{\perp y}/\partial_{\perp y}$ liniile de forţă prezentîndu-se ca în fig. 2.

Considerînd o simetrie cilindrică, B este independent de φ iar condiţia $\nabla \vec{B} = 0$ în coordonate cilindrice (r, φ, z) conduce la

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r}(r \cdot B_r) + \frac{\partial B_z}{\partial z} = 0 \tag{13}$$

Integrînd această ecuaţie de la $r = 0$ la $r = \rho$ şi considerînd $\partial B_z/\partial z \approx \partial B/\partial z$ practic constant în acest interval, atunci conform (11) rezultă

$$B_r = -\frac{\rho}{2} \cdot \frac{\partial B}{\partial z} \tag{14}$$

Astfel, o particulă care se mişcă în cîmpul magnetic considerat, este supusă unei forţe de-a lungul liniilor de cîmp magnetice.

$$F_{\parallel} = q\, v_{\perp}\, B_r = -\frac{W_{\perp}}{B} \cdot \frac{\partial B}{\partial z} \tag{15}$$

Ecuaţia de mişcare devine

$$m\frac{dv_{\parallel}}{dt} = mv_{\parallel}\frac{dv_{\parallel}}{vz} = \frac{dW_{\parallel}}{dz} = -\frac{dW_{\perp}}{dz} = -\frac{W_{\perp}}{B} \cdot \frac{dB}{dz} \tag{16}$$

unde s-a ţinut seama că energia totală $W = W_{\parallel} + W_{\perp}$ este constantă într-un cîmp magnetic static. Rezultă $d(W_{\perp}/B)/dz = 0$ adică $\mu = W_{\perp}/B =$ $=$ constant, deci fluxul magnetic $\Phi =$ constant; orbita este astfel o spirală descrisă pe suprafaţa unui tub de linii de forţe magnetice (fig.2).

Expresia forţei (15) devine $F_{\parallel} =$ $= -\mu\, \partial B/\partial z = -\partial(\mu B)/\partial z$ adică ea derivă dintr-un potenţial μB şi poate accelera sau frîna particula de-a lungul liniilor de forţe magnetice. Fie α unghiul dintre $\vec{v}$ şi axa Oz; considerînd că particula se mişcă spre valori mai mari ale lui B, din constanţa momentului magnetic $mv_{\perp}^2/2B$ rezultă că $v_{\perp}^2 = v^2 \sin^2 \alpha$ creşte proporţional cu B adică

$$\sin^2 \alpha/\sin^2 \alpha_0 = B/B_0$$

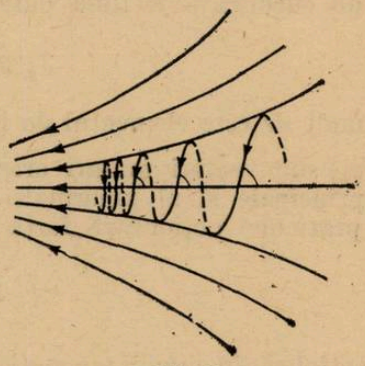


Fig. 2

unde α_0 — unghiul dintre B şi v în planul geomagnetic ecuatorial, iar B_0 — valoarea iniţială a cîmpului magnetic terestru. Evident, cînd $B =$ $= B_0/\sin^2 \alpha_0$, $v_{\parallel}$ se anulează, $v_{\perp} = v$, energia longitudinală este transformată în energie transversală şi particula este reflectată într-un „punct oglindă" înspre regiunea de cîmp mai slab.

Apoi particula încărcată se mişcă pe spirală înapoi de-a lungul aceleiaşi linii de forţă geomagnetice pînă la trecerea prin planul geomagnetic ecuatorial şi intră în emisfera opusă unde se produce acelaşi

fenomen (fig. 3). Astfel, împreună cu mişcarea pe spirală în jurul liniilor de forţă magnetice, particula încărcată oscilează între „punctele oglindă" în care $B = B_0/\sin^2\alpha_0$. Practic avem de a face cu o distribuţie a „punctelor oglindă" de-a lungul liniilor de forţă magnetice care se determină pe baza distribuţiei particulelor directoare la trecerea lor prin planul ecuatorial. Importanţa acestor unghiuri de distribuţie este

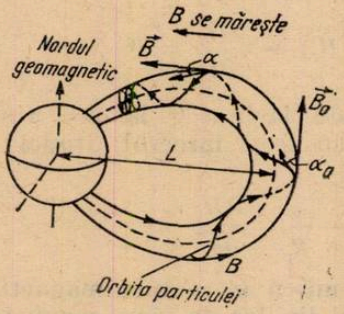


Fig. 3

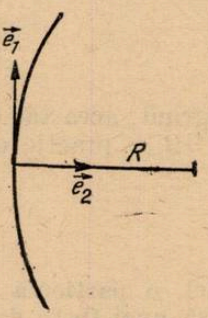


Fig. 4

legată de faptul că particulele încărcate se injectează în cîmpul magnetic terestru sub diferite unghiuri faţă de B.

Astfel, pentru particulele injectate sub unghiul minim α_0 la trecerea prin planul ecuatorial terestru, „punctele oglindă" se situează la înălţimi nu prea mari şi pot nimeri în interiorul atmosferei terestre. „Punctele oglindă", pot nimeri şi în interiorul pămîntului.

Să considerăm acum componentele $\partial B_x/\partial z$ şi $\partial B_y/\partial z$ ale tensorului $\nabla \vec{B}$ care conduc la curbarea liniilor de cîmp ca în fig. 4, raza de curbură — R fiind dată de

$$\vec{e}_2/R = \partial \vec{e}_1/\partial s = \nabla_\perp B/B \tag{17}$$

unde ds este elementul de lungime de-a lungul liniei de cîmp, iar ($\vec{e}_1$, $\vec{e}_2$, $\vec{e}_3$) sînt vectori unitari orientaţi respectiv în sensul lui B, al normalei principale şi al binormalei. Datorită curburii liniilor de cîmp, asupra praticulei acţionează forţa centrifugă

$$\vec{F}_c = -\frac{m v_\parallel^2}{R} \cdot \vec{e}_2 \tag{18}$$

astfel că, în cîmpul magnetic B, ia naştere o „viteză de derivă de curbură" dată de

$$\vec{v}_c = \frac{v_\parallel^2}{R\omega_b} \vec{e}_3 \tag{19}$$

În sfîrşit, să considerăm componentele $\partial B_z/\partial x$ şi $\partial B_z/\partial y$ ale tensorului $\nabla \vec{B}$ şi în particular, să alegem sistemul de coordonate în care numai $\partial B_z/\partial x \neq 0$. Orbita particulei va fi de forma reprezentată în Fig. 5, raza de giraţie, conform (3) şi sensului lui $\partial B_z/\partial x$, fiind mai mică

în dreapta figurii decît în stînga. Componenta F_x a forței depinde de x prin intermediul lui $B_z(x)$

$$F_x = qv_y B_z(x) = qv_y \left[B_z(0) + x \frac{\partial Bz}{\partial x} + \ldots \right] \tag{20}$$

Înțelegînd ecuația de mișcare $m \cdot dv_x/dt = F_x$, punctele 1 și 2 în care v_x are aceeași valoare, rezultă

$$\int_{t_1}^{t_2} F_x \, dt = 0 \tag{21}$$

sau folosind expresia (21) și ținînd seama de (11) (21) conduce la

$$\int_{t_1}^{t_2} v_y \, dt = -\frac{1}{B} \cdot \frac{\partial B}{\partial x} \oint x \, dy \tag{22}$$

sau, ținînd seama că practic orbita circulară este slab deformată, avem :

$$\Delta y = \frac{1}{B} \cdot \frac{\partial B}{\partial x} \pi \rho^2 \tag{23}$$

Rezultă astfel „viteza de deriva de gradient"

$$v_{grad.} = \frac{\Delta y}{2\pi/\omega_b} = \frac{\mu}{2B} \cdot \frac{\partial B}{\partial x} \tag{24}$$

Cîmpul magnetic terestru este asemănător cu cîmpul unui dipol, mărimea sa fiind proporțională cu R^{-3} unde R — raza de la centrul pămîntului. Pe cîtă vreme într-un cîmp magnetic omogen o particulă încărcată se va deplasa pe o orbită circulară în cîmpul magnetic terestru variabil, particula va suferi o „derivă longitudinală". Astfel un

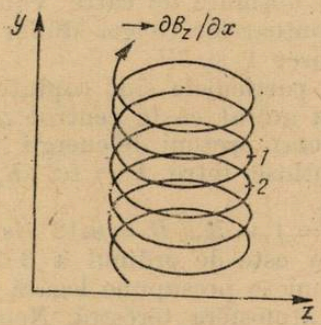


Fig. 5

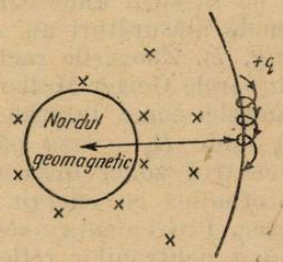


Fig. 6

proton va fi deplasat spre apus iar electronul și în general toate particulele negative vor fi deplasate spre răsărit cu o „viteză de derivă" de gradient" dată de expresia (24).

Din cele expuse mai sus, deducem că o particulă captată posedă trei tipuri de mișcări oscilatorii. Perioada larmor τ_1 este legată de mișcarea elicoidală de-a lungul cîmpului magnetic, ea este de ordinul microsecundelor pentru electronul captat și de ordinul milisecundelor pentru protonii captați.

La distanța de două raze terestre perioada τ_2 de oscilație între „punctele oglindă" e de ordinul 0,1—1,0 sec. pentru electronii captați și de 1—50 sec. pentru protonii captați.

La aceeași distanță, τ_3 perioada derivei longitudinale va fi de ordinul a 3 ore pentru electroni și protonii cu energii de 100 KeV, fiind mai mică pentru particulele de energii mai ridicate.

La elucidarea problemei captării particulelor încărcate de către cîmpul magnetic terestru, un aport însemnat l-au adus exploziile nucleare efectuate la înălțimi mari.

Statele Unite au efectuat în perioada august-septembrie 1958 trei explozii nucleare fiecare echivalentă cu o explozie de 1 K tonă de trinitrotoluen. Seria acestor explozii e cunoscută sub numele de proiectul „Argus". Rezultatele experimentale arată că particulele au fost supuse derivei longitudinale la distanța $L = 1{,}7$; 2,1 și 2,3 raze terestre. Grosimea fiecărei zone de radiație artificiale este de ~ 90 km pentru primele două explozii și de ~ 150 km pentru a treia, viața lor fiind de cîteva săptămîni.

Rezultatele proiectului „Argus" se supun teoriei captării expuse mai sus.

La 9 iulie 1962, Statele Unite au făcut să explodeze o stație nucleară la înălțimea de 400 km într-un punct de coordonate geografice 16,7°N și 190,5°E. Din această explozie care era de 1000 de ori mai puternică decît explozia seriei „Argus", au rezultat aproximativ 10^{27} electroni cu energii $\approx$ 7 MeV. Observațiile făcute cu ajutorul a trei sateliți au demonstrat că numărul de electroni captați atinge valoarea 10^{26} confirmînd ipotezele teoretice de mai sus.

2. Zonele de radiație internă și externă

Primele datele despre existența unor particule însemnate, cuprinse în cîmpul magnetic terestru, au fost obținute de către Van Allen și colaboratorii săi în 1958 cu ajutorul contoarelor Geiger-Müller ecranate, instalate pe sateliții americani „Explorer 1 și 3".

Primele măsurători au arătat că particulele sînt captate în două regiuni (fig. 7). Zborurile rachetelor au arătat că în centrul zonei interioare contoarele Geiger Müller au detectat protoni de energii $\geqslant 20$ *Mev*.

Granițele zonei interne sînt cuprinse între $L = 1{,}2\ R_0$ și $L = 1{,}7\ R_0$ unde R_0 — raza pămîntului.

În centrul zonei interne, la $L = 1{,}4\ R_0$, $B = 0{,}12$ *Gs* și intensitatea protonilor cu energii > 30 Mev este de ordinul a $3 \cdot 10^4$ particule/cm² sec. Proveniența acestor protoni se presupune legată de dezintegrarea β a neutronilor reflectați de atmosfera terestră. Neutronii reflectați se obțin din ciocnirea protonilor din erupțiile solare cu moleculele atmosferei terestre.

Din datele culese se vede că între octombrie 1959 și decembrie 1960, energia protonilor cu energii > 18 Mev a crescut de 2—3 ori pentru $L > 1{,}8\ R_5$. Hess a presupus că această mărire este condiționată de variația densității atmosferei legată la rîndul ei de variația intensității petelor solare.

Măsurători recente au descoperit în zona internă, la $L \approx 1{,}22\ R_0$ și electroni cu energii mai mari de 40 Kev și intensitate 5×10^6 electroni/cm² sec. steradiani.

Granițele zonei exterioare sînt situate probabil între $L \approx 3\ R_0$ și $L \approx 8\ R_0$. În centrul zonei exterioare primii sateliți au detectat electroni cu energii mai mari de 1,6 Mev. Măsurătorile satelitului „Explorer 12" făcute în 1961 de O'Brien, Van Allen, Leflin și Frank au contribuit la o cunoaștere mai completă a zonelor de captare internă și externă. Satelitul s-a deplasat pe o orbită al cărei apogeu era la 77.300 km și periheliul la 300 km, înclinația de 33° și întretăia zona exterioară în apro-

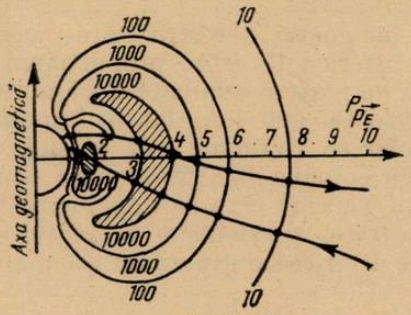


Fig. 7

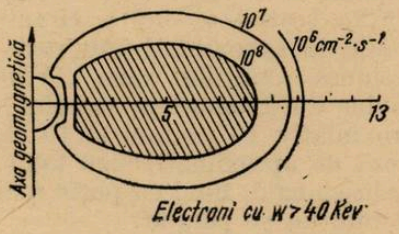


Fig. 8

pierea planului geomagnetic ecuatorial cu o perioadă de 26 ore. Rezultatele măsurătorilor arată că pentru electroni cu energii de aproximativ 50 Kev nu există ramificare în cele două zone, ci există o regiune unică de captare înfățișată în fig. 8, pentru partea luminată a pămîntului și într-o perioadă liniștită din punct de vedere magnetic. Datele ulterioare

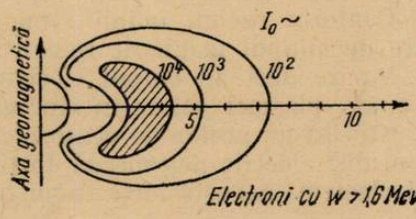


Fig. 9

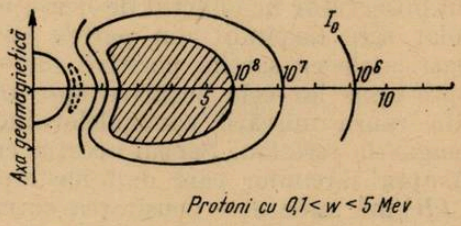


Fig. 10

ale lui Franck, Van Allen și Macanov, bazate în general pe măsurătorile satelitului „Explorer 14" arată că, deși sfera magnetică cuprinde și partea întunecată a pămîntului (fig. 12), în această regiune captarea electronilor cu energii $\geqslant 400$ Mev este mai mică decît pe o distanță radială egală pe partea luminată a pămîntului.

În fig. 9 e prezentată distribuția electronilor cu energii mai mari de 1,6 Mev, tipică perioadei de calm din punct de vedere magnetic. Intensitatea acestor electroni este maximă pentru $L \approx 3{,}5\ R_0$.

În zona exterioară se observă fluctuații vizibile ale intensității electronilor; în decurs de o zi intensitatea electronilor cu energii de aproximativ 50 Kev se schimbă de 50 de ori, iar a celor cu energii mai mari de 1,6 Mev de aproximativ 1000 de ori. Tot în interiorul zonei exterioare, Davis și Wiliamson au descoperit, cu ajutorul contorului de scintilație de pe satelitul „Explorer 12", protoni cu energii cuprinse între 100 Kev și 4,5 Mev. Intensitatea maximă a acestor protoni s-a dovedit a fi la $L \approx 3{,}5\ R_0$. și este egală cu 6×10^7 protoni/cm² sec. steradian. Rezultatele măsurătorilor sînt arătate în fig. 10.

În concluzie, regiunea de captare este unică și se întinde pînă la limitele cîmpului magnetic terestru. În interiorul acestei regiuni, particulele cu energii diferite sînt distribuite spațial, liniile cu aceeași intensitate urmînd liniile de forță ale cîmpului magnetic terestru (fig. 7).

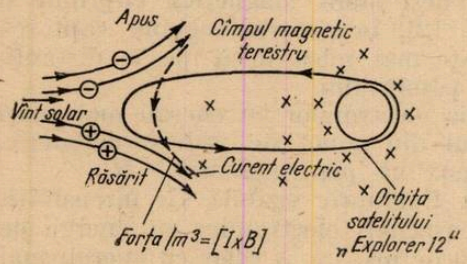
3. Granițele cîmpului magnetic terestru

Înconjurînd pămîntul, cîmpul magnetic terestru are aspectul cîmpului unui dipol [în coordonate sferice B este proporțional cu $R^{-3}(2a_r \cos\theta + a_\theta \sin\theta)$]. Granița sa, în partea luminată a pămîntului, se află la aproximativ 10 raze terestre (65 000 km) limită impusă de presiunea „vîntului solar". Vîntul solar se compune din plasmă care provine din cromosfera soarelui sau din coroana sa. Vîntul solar conține aproximativ 10 protoni și 10 electroni pe cm^3 care se deplasează cu o viteză de aproximativ 300 km/s. Densitatea particulelor în vîntul solar e neînsemnată, fiind cu puțin mai mică decît cea obținută în cel mai bun vacuum de pe pămînt.

Vîntul solar depinde de variația activității solare și de numărul exploziilor solare și, în funcție de intensitatea exploziei solare, forța vîntului solar se mărește conducînd la apariția furtunilor magnetice.

Să urmărim în continuare ce se întîmplă cînd vîntul solar întîlnește cîmpul magnetic terestru. În acest scop să urmărim comportarea sarcinilor în mișcare ale plasmei în momentul ciocnirii lor cu cîmpul magnetic terestru. În fig.11 pămîntul e arătat astfel cum e văzut de un observator în punctul de deasupra polului geomagnetic nordic. Vîntul solar este răspîndit din partea stîngă. Conform regulii mîinii stîngi, particulele cu sarcini pozitive sînt deviate de cîmpul magnetic terestru spre apus iar cele negative spre răsărit. Apare deci un curent electric din cauza mișcării particulelor încărcate ale plasmei solare în cîmpul magnetic terestru. Sensul acestui curent este invers acelor de ceasornic. Asupra sarcinilor care dau naștere curentului electric acționează forța $[JB]/m^3$ unde J — densitatea curentului electric. Această forță respinge plasma solară de la suprafața pămîntului.

Vîntul solar pătrunde în cîmpul magnetic terestru pînă în momentul în care forța $[JB]$ va egala presiunea dinamică a plasmei. Astfel, cîmpul



Fip. 11

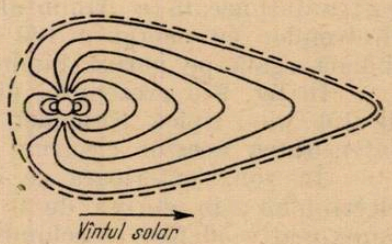


Fig. 12

magnetic terestru creează o „gaură" în plasmă care se deplasează continuu în vîntul solar. Această „gaură" se numește magnetosferă sau cavitate geomagnetică sau magnetopauză. Vîntul solar înconjoară cavitatea geomagnetică (magnetopauza) a cărei formă, după ultima ipo-

teză, este semisferică pe partea luminată a pămîntului (cea care se află în direcţia soarelui). Pe baza observaţiilor făcute cu satelitul „Explorer 12" în august 1961, Kehil şi Amazin au evaluat grosimea cavităţii geomagnetice la aproximativ 100 km, uneori atingînd valoarea de aproximativ 1000 km. Măsurătorile efectuate cu „Explorer 14" confirmă forma semisferică a cavităţii geomagnetice în partea luminată a pămîntului. Pentru regiunea întunecată a pămîntului nu s-au făcut încă măsurători. Deoarece presiunea vîntului solar normală pe suprafaţa cavităţii geomagnetice trebuie să fie pe partea întunecată mai mică decît pe cea luminată, cavitatea geomagnetică ar trebui să fie extinsă spre partea întunecată primind, probabil, forma unei pere (fig. 12). Pe partea întunecată a pămîntului, cavitatea geomagnetică (magnetopauza) se va închide datorită temperaturii ridicate a plasmei. Pe partea luminată a pămîntului vîntul solar „apasă" liniile de forţă ale cîmpului magnetic terestru. Aceste linii ies din dipolul magnetic terestru trecînd prin cavitatea geomagnetică ceea ce conduce la o deformare a cîmpului magnetic terestru şi, probabil, cu o mică aproximaţie arată ca în fig. 12.

Pe partea luminată a pămîntului (partea dinspre soare) cîmpul magnetic, pe graniţa cavităţii geomagnetice şi la nivelul mării este mai puternic pentru că liniile de forţă ale cîmpului magnetic terestru sînt strivite de vîntul solar, liniile cîmpului magnetic terestru suprapunîndu-se peste cele ale cîmpului magnetic creat de curentul electric ce înconjoară cavitatea geomagnetică.

Analizînd comportarea vîntului solar în apropierea cavităţii geomagnetice, Kellog ajunge la ipoteza existenţei unui front al undei de şoc situat pe o distanţă de cîteva raze terestre în afara cavităţii geomagnetice pe partea ei luminoasă. Zona dintre acest front şi graniţa cavităţii geomagnetice a primit numele de zonă de trecere. În interiorul acestei zone, după Friemann, există un strat de electroni cu energii de cîţiva Kev, la distanţa de 2—3 raze terestre faţă de graniţele cavităţii geomagnetice.

4. Furtunile magnetice

În general furtunile magnetice puternice se observă după cîteva zile în urma unor explozii solare.

Van Allen, Rosser şi Velpi au analizat furtuna magnetică din 30 septembrie 1961 ca urmare a celor trei explozii solare din 28 septembrie acelaşi an. Din măsurătorile lor cu ajutorul satelitului „Explorer 12" reiese că furtuna magnetică a apărut ca o consecinţă a proiectării pe pămînt a unui surplus de plasmă solară care se deplasa cu o viteză de aproximativ 10^4 km/sec. (mai ales protoni cu energii cuprinse între 23 Mev şi 40 Mev.).

După modelul lui Chapman—Ferraro, plasma solară creează o undă de şoc. În regiunea de după unda de şoc plasma e cunoscută sub numele de „gaz care împinge", probabil cu o turbulenţă ridicată. În momentul ciocnirii undei de şoc de cavitatea geomagnetică aceasta din urmă se contractă, contracţie care conduce la intensificarea cîmpului magnetic la nivelul mării. Mărirea cîmpului magnetic la nivelul mării se realizează în cca. 8 minute şi este un început al furtunii magnetice. Observaţiile ulterioare realizate cu acelaşi satelit arată că magnetopauza se dilată şi se contractă în timpul furtunii magnetice în limitele cîtorva raze terestre.

După faza inițială a furtunii magnetice urmează faza de bază însoțită de o micșorare a cîmpului magnetic la nivelul mării. Această micșorare este explicată de obicei de apariția unui curent inelar diamagnetic la o distanță de cîteva raze terestre. Rezultatele lui Davis și Williamson au arătat că după furtună intensitatea protonilor captați (cu energii cuprinse între 100 Kev și 4,5 Mev s-a mărit pe distanța de 3—4,5 raze terestre de aproximativ 3 ori. Deriva acestor protoni spre vest și curentul inelar corespunzător probabil, au condus la micșorarea cîmpului magnetic la nivelul mării. Curentul inelar este menținut cîteva zile. Cînd vîntul solar revine la perioada de calm, curentul inelar este împins de granița cavității geomagnetice din cauza intensificării cîmpului magnetic pe granițele ei.

Într-adevăr, din observațiile făcute, granițele cavității geomagnetice în ultima fază a furtunii magnetice se dilată de la 10 la 13 raze terestre.

Furtunile magnetice nu se aseamănă între ele, dar cea descrisă mai sus este tipică.

De multe ori furtunile magnetice sînt însoțite de aurore boreale intense; în timpul furtunilor magnetice puternice aurorele pot fi răspîndite chiar la latitudini mici.

Există de asemeni o corelație între furtunile magnetice și legăturile radio din cauza schimbărilor ionosferice.

ASUPRA UNOR ANALOGII ELECTRICE ȘI TERMICE

E. DÎMBOIU — Institutul Politehnic Brașov

Se știe că un sistem dat de ecuații funcționale nu este limitat la fenomenele unui singur domeniu de cercetare.

Este posibil ca aceleași ecuații să descrie fenomene din domenii cu totul diferite ale fizicii, cu deosebirea că semnificația coeficienților și mărimile care intervin diferă de la un domeniu la altul.

Prin analogie se înțelege studierea unui fenomen cu ajutorul unui alt fenomen analog, însă din alt domeniu. Se spune că două fenomene sînt analoge dacă le corespund aceleași ecuații funcționale și păstrează aceleași condiții de limită, deși aparțin de domenii diferite ale fizicii.

În cadrul acestui articol se va dezvolta aspectul teoretic al analogiei dintre fluxul electrostatic prin condensatoare plane, cilindrice și sferice pe de o parte și fluxul termic ce se transmite prin conducție prin pereți plani paraleli, pereți cilindrici și sferici pe de altă parte. Se vor arăta de asemenea și alte analogii electrice și termice care subzistă.

Expresiile fluxurilor se pot deduce folosind integrarea ecuației Laplace pentru cele două fenomene:

$$\Delta V = 0,$$

$$\Delta t = 0,$$

unde V și t sînt potențialul electric respectiv temperatura sau cum se mai poate spune potențialul termic. Expresia fluxului electric poate

fi dedusă de asemenea prin utilizarea legii fluxului electric şi prin analogie, fluxul termic din legea fluxului termic.

În cele ce urmează se va deduce expresia acestor fluxuri prin folosirea altei metode, care ne va permite introducerea mai uşoară a altor analogii, utilizînd relaţiile :

$$\psi_e = \frac{V_1 - V_2}{R_d}, \tag{1}$$

$$\psi_t = \frac{t_{p1} - t_{p2}}{R_t}, \tag{2}$$

în care $V_1 - V_2$ este diferenţa de potenţial între cele două armături ale condensatorului ;

$t_{p1} - t_{p2}$ — diferenţa de temperatură (diferenţa de potenţial termic) între suprafeţele peretelui ;

R_d — rezistenţa dielectrică ;

R_t — rezistenţa termică.

Prin definiţie rezistenţa dielectrică are expresia :

$$R_d = \int \frac{(\overline{E} \cdot d\overline{l})}{\int (\overline{D} \cdot d\overline{A})},$$

unde $\overline{E}$ este vectorul intensitate a cîmpului electrostatic ;

$d\overline{l}$ — vectorul elementului de lungime ;

$\overline{D}$ — vectorul inducţie electrică ;

$d\overline{A}$ — vectorul element de suprafaţă.

În cazul cînd vectorii $\overline{E}$, $\overline{D}$, $d\overline{l}$, şi $d\overline{A}$ sînt colineari, expresia rezistenţei dielectrice pentru un tub de linii de cîmp electrostatic de secţiune A devine :

$$R_d = \int \frac{E \cdot dl}{D \cdot A},$$

dar $D = \varepsilon E$,

unde ε este permitivitatea dielectricului $[\varepsilon] = \left[\frac{F}{m}\right]$, considerată constantă, deci în acelaşi caz ca mai înainte :

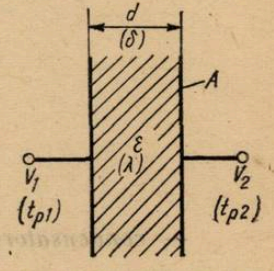


Fig. 1. Condensator plan (Perete plan paralel).

$$R_d = \int \frac{E \cdot dl}{\varepsilon E \cdot A} \rightarrow R_d = \int \frac{dl}{\varepsilon A}\left[\frac{1}{F}\right]. \tag{3}$$

Expresiile rezistenţei dielectrice pentru condensatoarele plan, cilindric şi sferic, dacă se neglijează efectul de margine, sînt următoarele :

— *condensatorul plan* (fig. 1) :

$$R_d = \int_0^d \frac{dl}{\varepsilon A} = \frac{d}{\varepsilon A}, \tag{4}$$

unde d este distanţa dintre armături;
A — suprafaţa unei armături;
— *condensatorul cilindric* (fig. 2):

$$R_d = \int_{r_1}^{r_2} \frac{dl}{\varepsilon A},$$

$$dl = dr,$$

$$A = 2\pi r l,$$

r_1 — raza interioară a condensatorului;
r_2 — raza exterioară a condensatorului;
$r_1 > r > r_2$;
l — lungimea condensatorului;

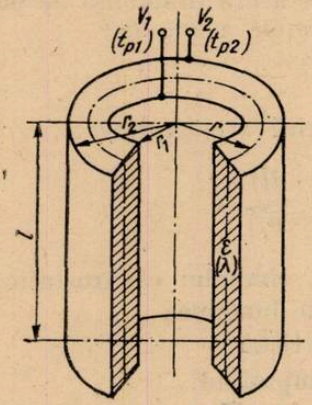


Fig. 2 Condensator cilindric (perete cilindric).

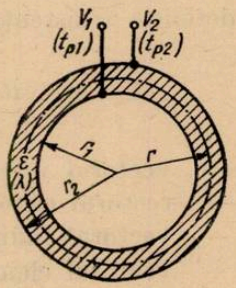


Fig. 3 Condensator sferic (Perete sferic).

$$R_d = \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{2\pi r \varepsilon l} = \frac{1}{2\pi \varepsilon l} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r},$$

$$R_d = \frac{1}{2\pi\ \varepsilon l} \ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{1}{2\pi\ \varepsilon l} \ln \frac{d_2}{d_1}; \qquad (5)$$

— *condensatorul sferic* (fig. 3):

$$R_d = \int_{r_1}^{r_2} \frac{dl}{\varepsilon A},$$

$$dl = dr,$$

$$A = 4\pi r^2,$$

$$R_d = \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{4\pi\ \varepsilon r^2} = \frac{1}{4\pi\ \varepsilon} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2},$$

$$R_d = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = \frac{1}{2\pi\ \varepsilon} \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right). \qquad (6)$$

Prin analogie cu rezistența dielectrică se poate defini și rezistența termică pentru un tub de linii de cîmp termic de secțiune A :

$$R_t = \int \frac{dl}{\lambda A} \left[\frac{grd}{W}\right], \tag{7}$$

unde λ este coeficientul de conductivitate termică $[\lambda] = \left[\frac{W}{m \cdot grd}\right]$, considerat constant.

Expresiile rezistenței termice pentru cele trei feluri de pereți, neglijînd efectul de margine, prin analogie cu rezistențele dielectrice, vor fi :

— *perete plan paralel* (fig. 1) :

$$R_t = \frac{\delta}{\lambda A}, \tag{8}$$

unde δ este grosimea peretelui ;

— *perete cilindric* (fig. 2) :

$$R_t = \frac{1}{2\pi\,\lambda l} \ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{1}{2\pi\,\lambda l} \ln \frac{d_2}{d_1}; \tag{9}$$

— *perete sferic* (fig. 3) :

$$R_t = \frac{1}{4\pi\,\lambda}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \frac{1}{2\pi\,\lambda}\left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}\right). \tag{10}$$

Ținînd cont de relațiile (1), (4), (5), (6), fluxul electric are expresiile :

— *condensatorul plan* :

$$\psi_e = \frac{V_1 - V_2}{\frac{d}{\varepsilon A}} \rightarrow \psi_e = \frac{V_1 - V_2}{\frac{d}{\varepsilon}} \cdot A; \tag{11}$$

— *condensatorul cilindric* :

$$\psi_e = \frac{V_1 - V_2}{\frac{1}{2\pi\,\varepsilon l} \ln \frac{d_2}{d_1}} \rightarrow \psi_e = \frac{V_1 - V_2}{\frac{1}{2\pi\,\varepsilon} \ln \frac{d_2}{d_1}} \cdot 1; \tag{12}$$

— *condensatorul sferic* :

$$\psi_e = \frac{V_1 - V_2}{\frac{1}{2\pi\,\varepsilon}\left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}\right)}. \tag{13}$$

În mod analog, ținînd cont de relațiile (2), (8), (9), (10), fluxul termic are expresiile :

— *perete plan paralel* :

$$\psi_t = \frac{t_{p1} - t_{p2}}{\frac{\delta}{\lambda A}} \rightarrow \psi_t = \frac{t_{p1} - t_{p2}}{\frac{\delta}{\lambda}} \cdot A; \tag{14}$$

— *perete cilindric* :

$$\psi_t = \frac{t_{p1} - t_{p2}}{\frac{1}{2\pi\lambda l} \ln \frac{d_2}{d_1}} \rightarrow \psi_t = \frac{t_{p1} - t_{p2}}{\frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}} \cdot 1 ; \tag{15}$$

— *perete sferic* :

$$\psi_t = \frac{t_{p1} - t_{p2}}{\frac{1}{2\pi\lambda}\left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}\right)} . \tag{16}$$

Sînt deci evidente analogiile :

$$V_1 - V_2 \leftrightarrow t_{p1} - t_{p2} ;$$

$$\varepsilon \leftrightarrow \lambda ;$$

$$R_d \leftrightarrow R_t ;$$

$$\psi_e \leftrightarrow \psi_t .$$

Altă mărime care se poate preciza folosind analogiile electrice și termice este capacitatea termică.

Capacitatea electrică se definește ca fiind inversul rezistenței dielectrice :

$$C = \frac{1}{R_d} [F]. \tag{17}$$

În mod analog se poate introduce noțiunea de capacitate termică, ca fiind inversul rezistenței termice :

$$C_t = \frac{1}{R_t}\left[\frac{W}{grd}\right]. \tag{18}$$

Astfel, expresiile capacităților electrice și termice pentru cazurile considerate mai sus sînt :

— *condensatorul plan* :

$$C = \frac{\varepsilon A}{d} ; \tag{19}$$

— *peretele plan paralel* :

$$C_t = \frac{\lambda A}{\delta} ; \tag{20}$$

— *condensatorul cilindric* :

$$C = \frac{2\pi\varepsilon l}{\ln \frac{d_2}{d_1}} ; \tag{21}$$

— *peretele cilindric* :

$$C_t = \frac{2\pi\lambda l}{\ln \frac{d_2}{d_1}} ; \tag{22}$$

— *condensatorul sferic* :

$$C = 2\pi\,\varepsilon\,\frac{d_1 \cdot d_2}{d_2 - d_1}\,; \tag{23}$$

— *peretele sferic* :

$$C_t = 2\pi\,\lambda\,\frac{d_2 \cdot d_1}{d_2 - d_1}\,. \tag{24}$$

Capacitatea termică este o mărime importantă deoarece ea se poate folosi la proiectarea instalațiilor termice. De exemplu dacă dorim să construim un perete plan paralel care ar fi supus fluxului termic ψ_t, ținînd cont de materialele pe care le avem la dispoziție se poate proceda după cum urmează. Se pune condiția ca oricare din materiale le-am folosi, capacitatea termică să rămînă aceeași :

$$C_{t1} = C_{t2},$$

$$\frac{\lambda_1 A_1}{\delta_1} = \frac{\lambda_2 A_2}{\delta_2}\,.$$

Din această relație se poate scoate valoarea suprafeței A_2 în funcție de celelalte elemente cunoscute :

$$A_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \cdot \frac{\delta_2}{\delta_1} \cdot A_1 \qquad [\mathrm{m}^2],$$

rezolvînd deci o problemă practică.

Ținînd cont de expresia cantității de electricitate la un condensator :

$$q = C(V_1 - V_2) \qquad [C], \tag{25}$$

prin analogie se introduce noțiunea de cantitate de căldură transmisă în unitatea de timp :

$$Q = C_t\,(t_{p1} - t_{p2}) \qquad [W]. \tag{26}$$

Rezultă deci analogiile :

$$C \leftrightarrow C_t,$$

$$q \leftrightarrow Q.$$

Se observă din relațiile (1), (17), (25) și (2), (18), (26) că :

$$\psi_e = q,$$

$$\psi_t = Q,$$

deci găsim legea fluxului electric și analog legea fluxului termic.

Analogiile electrice și termice pot fi puse în evidență și prin utilizarea cîmpului electrocinetic, folosind legea lui Ohm, sau a cîmpului magnetic, folosind legea lui Ohm în magnetism. Examinarea analogiilor se face în mod similar, utilizîndu-se denumiri și notații adecvate.

Desigur că cele prezentate mai sus nu epuizează problema analogiilor electrice și termice. Mai mult, cu ajutorul unor instalații electrice (modelele analogice) se pot studia anumite fenomene termice, dar modelele analogice nu fac obiectul acestui articol.

BIBLIOGRAFIE

[1] *Andronescu, P.*, Bazele teoretice ale electrotehnicii, partea I, Editura Institutului Politehnic Timişoare, 1954.
[2] Colectiv de autori, Fizica, vol. I, Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1964.
[3] *Focşa, V.* şi *Radu, A.*, Clădiri civile şi construcţii industriale (Îndrumar de laborator), Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1966.
[4] *Friş, S. E.* şi *Timoreva, A. V.*, Curs general de fizică, vol. I, II şi III, Bucureşti, Editura tehnică, 1052—1954 (trad. din l. rusă).
[5] *Hamburger, L.*, Introducere în teoria propagării căldurii, Bucureşti, Editura Academiei R.S.R., 1956.
[6] *Petuhov, B. S.*, Studiul experimental al proceselor de transmitere a căldurii, Bucureşti, Editura tehnică, 1956 (trad. din l. rusă).
[7] *Steinberg, C.*, Teoria şi proiectarea aparatelor electrice, vol. I, Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1964.
[8] *Timotin, A.* şi *Hortopan. V.*, Lecţii de bazele electrotehnicii, vol. I, Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1964.

PREZENTAREA EXPERIMENTALĂ A LEGILOR EFECTULUI FOTOELECTRIC EXTERN

Prof. *D. MANDA* — Liceul nr. 2 Giurgiu

În cadrul lecţiilor de optica fotonică prezentăm elevilor efectul fotoelectric ca fenomen de transformare a energiei luminoase în energie electrică şi facem clasificarea fotoefectului în :

— efect fotoelectric extern
— efect fotogalvanic
— efect fotoconductiv.

Manualul de fizică al cl. XI-a prezintă numai efectul fotoelectric extern, descoperit de Hertz, formulează legile acestui efect şi explică fotonic aceste legi.

Numeroase experienţe au verificat prima lege a fotoefectului, adică proporţionalitatea dintre intensitatea fotocurentului şi intensitatea fluxului luminos :

$$U_f = K\,\Phi$$

unde I_f reprezintă intensitatea fotocurentului în μA, Φ reprezintă fluxul luminos în lm, $K \cdot$ este un factor de proporţionalitate în $\mu A/lm$, numit sensibilitatea fotocatodului şi care depinde de natura metalului şi starea suprafeţei lui, de frecvenţa radiaţiei incidente şi alţi factori.

În cazul unei surse monocromatice în relaţia $I_f = K\,\Phi$, K va fi înlocuit prin K_λ şi se va numi sensibilitate spectrală a fotocatodului şi relaţia (1) devine

$$I_f = K_\lambda\,\Phi$$

După catod se deosebesc două feluri de caracteristici spectrale care vor corespunde respectiv :

a) efectul fotoelectric normal
b) efectul fotoelectric selectiv.

a) Pentru efectul fotoelectric normal, folosind metale pure drept fotocatozi, se constată că I_f creşte cu cît λ scade.

b) Pentru efectul fotoelectric selectiv, folosind fotocatozi (complexi) cu metale alcaline, se constată că I_f creşte cu cît λ scade, dar pentru o anumită valoare a lungimii de undă a radiaţiei incidente, caracteristica spectrală prezintă un maximum.

După acest maximum deşi λ scade (creşte ν) I_f în loc să crească aşa cum se întîmpla la efectul fotoelectric normal, începe să scadă. Caracteristicile spectrale pentru metale alcaline se prezintă astfel : (fig. 2.)

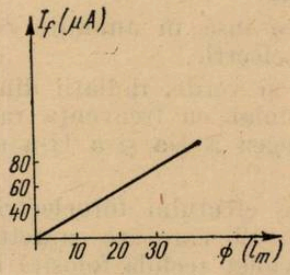


Fig. 1

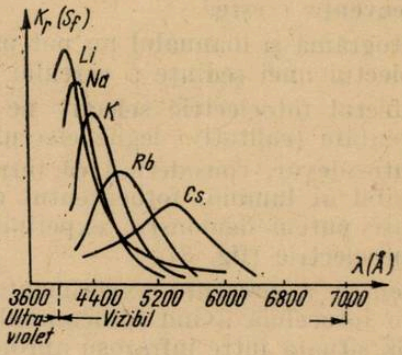


Fig. 2

Se observă că la Cs caracteristica spectrală se află în întregime în spectrul vizibil, maximul fiind situat în regiunea verde, pe cînd Li şi Na au maximele deplasate spre violet.

După toate probabilităţile şi celelalte metale prezintă efectul fotoelectric selectiv, însă maximele respective sînt situate în domenii spectrale cu lungimi de undă foarte mici, greu accesibile observaţiilor experimentale.

Evident, este simplu de înţeles dece fotocurentul I_f creşte pe măsură ce scade lungimea de undă a radiaţiei incidente, creşte frecvenţa şi deci energia cuantei.

Pentru lungimi de undă ceva mai mici decît lungimea de undă corespunzătoare pragului fotoelectric λ_0, numai un număr mic de electroni şi anume aceia care posedă cea mai mare energie cinetică vor putea părăsi metalul după absorbţia fotonului.

Pe măsură ce lungimea de undă scade, energia fotonilor creşte şi deci chiar electronii cu energia iniţială mai mică vor avea ca urmare a absorbţiei fotonului, energie suficientă pentru a părăsi metalul.

Maximul curbei se poate explica considerînd că electronii din metal ar avea o frecvenţă proprie de oscilaţie, astfel încît, pe măsura în care frecvenţa radiaţiei incidente se apropie de frecvenţa proprie a electronilor, amplitudinea lor de oscilaţie creşte şi deci şi energia lor creşte, ca urmare un număr din ce în ce mai mare de electroni va părăsi metalul, iar în cazul cînd frecvenţa radiaţiei incidente va coincide cu frecvenţa proprie a electronilor acest număr va fi maxim.

Pe măsură însă ce creşte frecvenţa radiaţiei incidente probabilitatea absorbţiei fotonului de către un electron începe să scadă (secţiunea eficace caracteristică interacţiunii foton-electron scade).

Maximul curbei, caracteristic efectului fotoelectric selectiv poate fi considerat ca rezultatul a două efecte contrarii :

— creşterea numărului de electroni smulşi odată cu creşterea frecvenţei radiaţiei incidente,

— scăderea probabilităţii de absorbţie a unui foton de către un electron, odată cu mărirea frecvenţei radiaţiei.

Pentru frecvenţe mai mari decît cele corespunzătoare maximului, efectul al doilea precumpănitor şi valoarea fotocurentului I_f scade cînd frecvenţa creşte.

Programa şi manualul nu pot prezenta acest efect, dar el ar putea face obiectul unei şedinţe a cercului de fizică.

Efectul fotoelectric selectiv ne permite însă în anumite condiţii să prezentăm (calitativ) legile efectului fotoelectric.

Într-adevăr, considerînd că între roşu şi verde, radiaţii din spectrul vizibil al luminii, fotocurentul creşte liniar cu frecvenţa radiaţiei luminoase putem demonstra experimental legea a I-a şi a II-a a efectului fotoelectric (fig. 3).

Pentru a prezenta experimental legile efectului fotoelectric, am folosit o fotocelulă avînd fotocatodul de Cs—Sb care are caracteristica spectrală situată între infraroşu apropiat şi violet (celula folosită la aparatele de proiecţie cinematografică T-16, produs de I.O.R.)

Aplicînd o tensiune de 200—250 V între fotocatod şi anod şi luminînd fotocatodul cu radiaţii cuprinse între roşu şi verde, un galvanometru I.M.D. va indica un fotocurent a cărui intensitate creşte pe

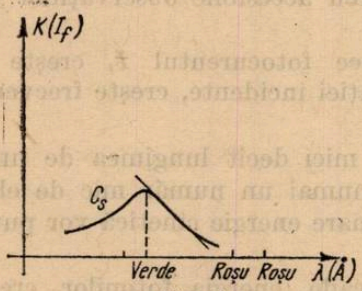


Fig. 3

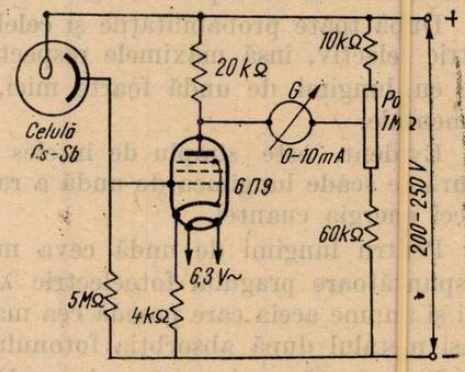


Fig. 4

măsură ce scade lungimea de undă (creşte frecvenţa) de la culoarea roşie pînă la culoarea verde inclusiv.

Dacă se modifică intensitatea fluxului luminos incident pe fotocatod se poate arăta că fotocurentul creşte sau scade odată cu fluxul luminos.

Deoarece fotocurentul obţinut este foarte mic se impune amplificarea lui, lucru pe care l-am realizat printr-un montaj electronic a cărui schemă de principiu este reprezentată în fig. 4.

Amplificatorul şi fotocelula avînd dimensiuni reduse mi-au permis realizarea unei casete de dimensiunile 15 × 25 × 10 cm. care poate fi utilizată foarte comod pe masa de experienţe în faţa clasei, fig. 5.

În cazul cînd nu se poate construi acest amplificator, fotocurentul se poate amplifica prin amplificatorul unui aparat de radio sau amplificatorul aparatului de proiecție cinematografică, dar în această situație galvanometr I.M.D. va fi șuntat printr-o rezistență a cărui valoare să

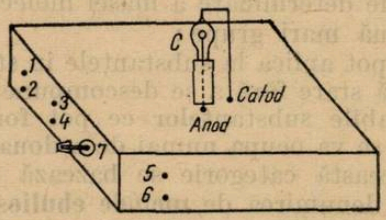


Fig. 5

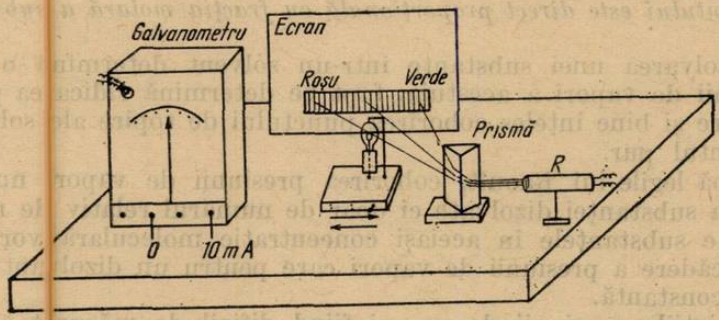


Fig. 6

depășească 1 Ω, deoarece curenții electrici ce apar au valori ce depășesc scala aparat lui.

Montaj l experimental se prezintă în ansamblu astfel: (fig. 6).

Realizarea experimentului

1. — În sala de lucru se realizează întuneric cît mai deplin posibil.

2. — Se aprinde lampa de proiecție — R și becul ce luminează scala galvan ometrului I.M.D.

3. — Fa scicolul luminos obținut de la lampa R se trimite pe o prismă de sti lă iar pe un ecran alb se prinde spectrul vizibil al luminii — R.O.G.V.A.I V.

4. — Se aplică o tensiune de 200—250 V c.c. la montajul celula amplificator. În cazul cînd galvanometrul va indica prezența unui curent, cu ajutorul p otențiometrului P se aduce acul la zero.

5. — Se așază caseta cu celula amplificator dincolo de culoarea roșie a spec rului. Se deplasează caseta de-a lungul spectrului menținînd fotocelu la iluminată de radiațiile spectrului. Acul galvanometrului va indica pr zența unui fotocurent a cărui intensitate crește odată cu deplasarea fo tocelulei de la marginea radiației roșii pînă la extremitatea superioară a radiației verzi a spectrului. Fotocurentul depinde de frecvența radiați ei luminoase crescînd odată cu ea (legea II-a).

6. — De pendența fotocurentului de intensitatea fluxului luminos se demonstr ază iluminînd celula cu un flux luminos variabil, realizat prin introdu erea în serie în circuitul lămpii de proiecție a unui reostat.

METODE FIZICE DE DETERMINARE A MASEI MOLECULARE

Prof. *ADINA CÎRLĂNESCU* Şc. Generală 85 — Bucureşti

Metodele fizice de determinare a masei moleculare deşi numeroase, se pot împărţi în două mari grupe :

— metode ce se pot aplica la substanţele în stare gazoasă sau celor ce pot trece în această stare fără a se descompune,

— metode aplicabile substanţelor ce pot forma soluţii.

Articolul nostru se va ocupa numai de a doua categorie de metode.

Metodele din această categorie se bazează pe legile lui Raoult, şi sînt cunoscute sub denumirea de **metode ebulioscopice şi crioscopice.**

Raoult, printr-un mare număr de măsurători, a dovedit că : *scăderea presiunii de vapori a unei soluţii, faţă de presiunea de vapori a dizolvantului este direct proporţională cu fracţia molară a substanţei dizolvate.*

Dizolvarea unei substanţe într-un solvent determină o coborîre a presiunii de vapori a acestuia, fapt ce determină ridicarea punctului de fierbere şi bine înţeles coborîrea punctului de topire ale soluţiei faţă de solventul pur.

După legile lui Raoult, coborîrea presiunii de vapori nu depinde de natura substanţei dizolvate ci doar de numărul relativ de molecule; deci toate substanţele în aceiaşi concentraţie moleculară vor produce aceeaşi scădere a presiunii de vapori care pentru un dizolvant oarecare va fi o constantă.

Variaţiile presiunii de vapori fiind dificil de măsurat se recurge fie la măsurarea ridicării punctului de fierbere a soluţiei — **metoda ebulioscopică** — fie la măsurarea scăderii punctului de topire — **metoda criscopică.**

În metoda ebulioscopică se utilizează constanta ebulioscopică denumită şi urcarea molală a punctului de fierbere. Această constantă notată cu K_e reprezintă creşterea punctului de fierbere care se produce la dizolvarea unui mol de substanţă în 1000 g solvent. Ea poate fi calculată, pentru un solvent oarecare cu ajutorul relaţiei :

$$K_e = \frac{RT^2}{1000\,Lv} \qquad (1)$$

în care : T este temperatura de fierbere, în grade absolute, a solventului pur

Lv este căldura specifică de vaporizare în cal/g

Proporţionalitatea dintre creşterea temperaturii de fierbere şi concentraţia soluţiei va fi dată de relaţia

$$\Delta t = t - t^0 = K_e \cdot c \qquad (2)$$

în care (t = este punctul de fierbere al soluţiei, t^0 = punctul de fierbere a dizolvantului, iar c reprezintă numărul de moli de substanţă dizolvaţi în 1000 g de solvent.

Considerînd că în b grame de solvent sînt dizolvate a grame de substanţă, a cărei masă moleculară M trebuie determinată, înseamnă că în b grame de solvent se găsesc $\frac{a}{M}$ moli de substanţă dizolvată, iar la 1000 g solvent revin $1000\ \frac{a}{Mb}$ moli de substanţă, adică $c = 1000\ \frac{a}{Mb}$

Înlocuind această valoare a lui c în relația (2) se obține

$$\Delta t = K_e \frac{1000\ a}{M \cdot b} \tag{3}$$

de unde $$M = K_e \frac{1000\ a}{b\Delta t} \tag{4}$$

În metoda crioscopică se măsoară coborîrea temperaturii de topire a unei soluții. Raportul dintre depresiunea punctului de topire a soluției față de solventul pur și concentrația substanței dizolvate este dat de relația

$$\Delta t = t - t^\circ = K_t \cdot c \tag{5}$$

în care K este constanta crioscopică sau depresiunea molală a punctului de topire. Ea poate fi definită ca scăderea punctului de topire provocată de un mol de substanță dizolvată în 1000 g de solvent.

Urmînd același raționament pentru c, se obține o relație similară cu cea din metoda ebulioscopică și anume

$$\Delta t = K_t \frac{1000\ a}{Mb} \tag{6}$$

de unde

$$M = K_t \frac{1000\ a}{b\ \Delta t}$$

Precizăm faptul, că pentru solvenții utilizați în astfel de determinări se impun cîteva condiții:

— să nu formeze soluții solide cu substanța dizolvată (fenomen ce se produce cînd solventul și substanța sînt izomorfe sau cînd proprietățile lor chimice sînt similare).

— să nu formeze cu substanța asocieri moleculare,

— să posede o bună capacitate de dizolvare

— să aibă un punct de fierbere cu cel puțin 120°C mai coborît decît al substanței de cercetat

— să aibă o constantă (K_e sau K_t) cît mai ridicată posibil.

În mod practic, se măsoară mai întîi punctul de fierbere sau de topire al solventului pur, se introduce apoi o cantitate cîntărită de substanță și se măsoară din nou punctele respective pentru soluție. Se folosesc pentru aceasta termometre diferențiale de tip Beckmann-cu o precizie de 0,001° de unde și denumirea principalelor metode de lucru, metoda ebulioscopică Beckmann și metoda crioscopică Beckmann.

În afară de aceasta, mult s-a răspîndit și semimicrometoda ebulioscopică Sucharda-Bobranski și mai ales metoda crioscopică Rast, care folosește camforul ca solvent.

Camforul, avînd o constantă crioscopică mare ($K_t = 40°C$), la determinarea lui Δt se poate folosi și un termometru obișnuit cu precizia 0,1°C.

Metoda a fost perfecționată în sensul folosirii unor solvenți cu constante crioscopice superioare și prin determinări cît mai exacte a punctelor de topire respective, la microscopul cu placă de încălzire tip Boetius.

MODELUL ELECTRIC ÎN SPORT

Prof. *IUNIAN CHELU* — Giurgiu

Modelarea este una dintre cele mai vechi metode de cercetare a naturii. — Prima referire la ea se găseşte în lucrările lui Aristotel. — Mai tîrziu Kepler, Newton, Coulomb, Faraday, Maxwell şi alţi fizicieni au folosit-o cu succes în cercetările lor. Inginerul român Gogu Constantinescu a construit chiar o ştiinţă nouă pe baza acestei metode, sonicitatea.

Modelarea este deci o metodă clasică a ştiinţei. Ea constă în reproducerea unui fenomen din lumea obiectivă cu ajutorul unor obiecte materiale sau idealizate în scopul cunoaşterii legilor de evoluţie ale acestuia.

Modelul, ca rezultat al operaţiei de modelare, încearcă să reproducă fenomenul dat în ceea ce are acesta esenţial şi nu să-l copieze cu fidelitate absolută.

Faptul că modelul nu fotografiază realitatea ci o aproximează, imprimă acestei metode atît calităţi cît şi limite. Într-adevăr, studiul pe un model mult mai simplu de cît realitatea îi uşurează mult sarcina cercetătorului, dar în acelaşi timp îi şi limitează concluziile.

Cu toate acestea nimic n-a împiedicat pînă acum răspîndirea acestei metode în domenii foarte diferite de cercetare: fizică, chimie, biologie, lingvistică, economie ş.a.

Biologii o folosesc pentru studierea mecanismului de funcţionare a anumitor organe sau sisteme de organe. Pornind de la ideea că la baza comportamentului organic al fiinţelor vii stau şi fenomenele fizice ei au încercat să reproducă aceste procese biologice cu mijloace fizice.

Modelarea fizică în biologie are deci ca scop să surprindă, din varietatea de comportamente, legile fizice care guvernează procesul.

Această cerinţă mai este impusă şi de nevoia de a diferenţia indivizii şi de a-i selecţiona.

Sportul este una din manifestările umane de mare complexitate ale cărei legi nu pot fi studiate nemijlocit.

Modelarea fizică a proceselor sportive este impusă tocmai de dificultatea pe care o ridică abordarea frontală a acestor procese.

În cele ce urmează am să prezint considerentele care au stat la baza primului model electric în sport, model realizat în ţara noastră de Dr. Octavian Popescu, medicul lotului nostru de canotaj.

Studiul sistematic al curselor de canotaj pe baza înregistrărilor de viteză a ambarcaţiunii a scos la iveală faptul că pe distanţele scurte (sub 2000 m.) ca cele în cursele nautice de viteză, — viteza scade exponenţial — pe cînd în cursele nautice de fond (pe distanţele de 5000 şi 10000 m.) viteza scade aproape uniform încetinit pentru aceleaşi ambarcaţiuni.

Trebuie subliniat că au fost excluse startul şi finişul cursei şi că înregistrările s-au făcut de la o viteză iniţială deja atinsă.

Acest fenomen de natură sportivă este întîlnit în general în biologie. Într-adevăr, orice reacţie de răspuns în regim tranzitoriu, la un stimul de valoare constatată în timp, care intervine brusc din stare de repaus, scade mai întîi exponenţial iar de la un moment dat aproape rectiliniu.

Fenomenul de oboseală nu se datoreşte în principal muşchiului ca organ efector, ci nervului prin care impulsurile nu se mai transmit

şi epuizării substratului chimic care susţine metabolic efortul. Aşa dar, oboseala este de natură mecanică (musculară) nervoasă şi metabolică (de alimentare).

Pentru a realiza o imagine electrică a funcţiei motoare umane trebuie ca în modelul realizat să cuprindem cele trei mecanisme : efector, de comandă şi de susţinere metabolică.

Muşchiul propriu-zis (care, în acest caz nu oboseşte) poate fi reprezentat printr-un generator de curent continuu.

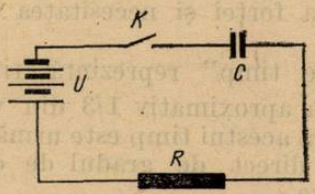


Fig. 1

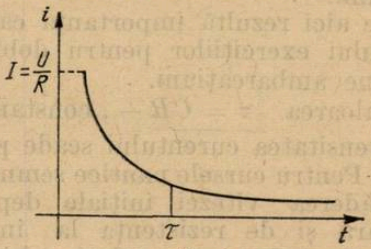


Fig. 2

Un comutator cu care putem închide intermitent circuitul (la fel cum contracţia se realizează intermitent şi de scurtă durată şi nu tetanic) va reprezenta sistemul de comandă.

Un condensator electric pe post de susţinător metabolic care se încarcă şi se descarcă exponenţial şi o rezistenţă care va traduce electric toate impedimentele care apar în procesul de înaintare al ambarcaţiunii (rezistenţa mecanică la înaintarea prin apă, frecarea ş.a.)

Toate aceste elemente grupate în serie într-un circuit vor alcătui modelul electric al fenomenului de oboseală sportivă.

— Momentul închiderii circuitului echivalează cu o comandă nervoasă, iar apariţia curentului în circuit, cu apariţia efectului muscular. În ambele sisteme o forţă constantă generează un efect care scade cu timpul.

Legea de bază a funcţionării sistemului electric în regim tranzitoriu este exprimată matematic prin formula

$$I = \frac{U}{R} e^{-\frac{t}{CR}}$$

iar grafic prin curba

Asemănarea dintre graficul ecuaţiei fundamentare a sistemului electric şi cel al coeficienţilor de oboseală dintr-un rulaj lansat (fără start şi fără finiş) pe parcursul unei piste nautice, este uimitoare. (Coef. de oboseală este definit prin scăderea vitezei de înaintare a unei ambarcaţiuni pe porţiuni echidistante de parcurs 250 m. sau 500 m.)

Această modelare a fost comunicată de Dr. Octavian Popescu în Congresul Internaţional de Ştiinţă a Sportului de la Tokio în 1964.

Modelul electric a explicat comportarea paradoxală a coeficienţilor de oboseală în cursele de viteză, faţă de cele de fond.

În momentul marcat pe grafic prin punctul de timp ——— curba devine aproape rectilinie. Acest moment are loc în cursele nautice între 1000 m, şi 2000 m. Graficele coef. de oboseală pe pistele de viteză (între 1000 m. şi 2000 m.) aveau aspect curb, iar graficele coef. de oboseală pe pistele de fond (între 5000 m. şi 10000 m.) au aspect rectiliniu.

În cursele prelungite scăderile de viteză sînt la început vertiginoase, la un moment dat se stabilizează și apoi devin uniforme.

Valoarea $\frac{U}{R}$ realizată pentru sistemul electric la $t = 0$ transpusă pentru cursele nautice arată că viteza inițială de înaintare a unei ambarcațiuni depinde direct proporțional de forța musculaturii active a echipajului și invers proporțional cu rezistența la înaintare a ambarcațiunii.

De aici rezultă importanța care trebuie acordată în cadrul antrenamentului exercițiilor pentru dobîndirea forței și necesitatea alegerii mai bune ambarcațiuni.

Valoarea $\tau = CR$ — „constanta de timp" reprezintă timpul în care intensitatea curentului scade pînă la aproximativ 1/3 din valoarea inițială. Pentru cursele nautice semnificația acestui timp este următoarea : scăderea vitezei inițiale depinde direct de gradul de oboseală musculară și de rezistența la înaintare.

Cunoscînd aceste valori critice (a vitezei inițiale și a punctului critic individual) se pot construi „pistele ideale" pentru un vîslaș sau pentru un echipaj.

Dozarea optimă pe un parcurs este o necesitate care s-a soluționat cu ajutorul modelării și care a rămas nerezolvată pînă acum de către tehnicienii și metodiștii sporturilor nautice.

Modelul electric a permis deci rezolvarea multor probleme de antrenament pentru diferite tipuri de ambarcațiuni.

FACTORI ȘI ACTIVITĂȚI COMUNE ÎN PROCESUL DE ÎNSUȘIRE AL FIZICII, CHIMIEI ȘI MATEMATICII LA ELEVII CLASELOR MICI

O tratare cantitativă

DOROTHEA ISTOK și *I. J. VASILESCU* Făgăraș

Este general acceptat că între fizică, chimie și matematică există strînse înrudiri datorită unor caracteristici comune de obiect și metodă. Acestea se explică prin contribuția mai multor factori care se referă atît la procesul de dezvoltare istorică a celor trei științe cît și la mijloacele și formele de predare și de însușire în procesul de învățămînt.

Prin natura obiectului, fizica și chimia se dezvoltă și acumulează noi rezultate utilizînd metode care au numeroase puncte comune sau foarte apropiate. Observația, experiența, prelucrarea, interpretarea și generalizarea observațiilor constituie cîteva din formele comune caracteristice de cercetare și stabilire a legilor în fizică și chimie. Imixtiunea matematicii în metodologia acestor științe a intervenit odată cu necesitatea elaborării relațiilor cantitative, care caracterizează legăturile între diverse fenomene fizico-chimice, devenind un instrument de lucru indispensabil fizicianului și chimistului, deopotrivă.

S-a subliniat de mult existența acestor conexiuni și s-a preconizat extinderea și adîncirea lor prin predarea interdependentă în scopul îmbunătățirii procesului de predare și asimilare al acestor discipline.

Discuțiile recente asupra necesității corelării — se înțelege că este vorba de punerea în evidență a unor corelații care există în mod nemijlocit și intrinsec — în predarea acestor obiecte de studiu preocupă cercetările de metodiști în vederea creerii unei concepții unitare și a dezvoltării capacității asociative a elevilor.

Este de așteptat ca, prin natura fenomenelor studiate, aceste legături să fie mai strînse între fizică și chimie, fapt determinat de nota predominant experimentală a acestor științe. În studiul lor intervine în măsură mult mai largă observația și descripția, aspectul fizic concret al faptelor cercetate, ceea ce constituie nota distinctivă a acestora și le diferențiază de matematică care operează adesea cu structuri abstracte, formule și ecuații cu caracter simbolic, mai generale și care reclamă o capacitate de înțelegere mai dezvoltată, un exercițiu intens și neîntrerupt. Înlănțuirea logică a lecțiilor de matematici este din acest motiv mai stringentă decît a celor de fizică sau chimie, orice lacună scindînd lanțul procesului de cunoaștere, de unde provin și dificultățile mai mari legate de învățătura matematicii.

Problema pusă în acest articol nu este aceia de a dezvolta metodica, formele sau mijloacele auxiliare de studiu care contribuie la realizarea corelațiilor menționate, — pentru care există referate și discuții conținînd aportul prețios și date interesante din experiența personală a mai multor cadre didactice, — ci de a adapta un test capabil să indice cantitativ în ce măsură se realizează aceste corelații atît prin caracteristicile și structura intimă a obiectului cît și prin experiența, abilitatea și efortul propriu al profesorului însărcinat a le realiza. Soluționarea acestei probleme oferă posibilitatea de a intra în posesia unei metode riguroase de evaluare a modului în care aceste conexiuni se realizează în fapt, la un moment dat, sau a modului în care ele evoluează după găsirea unor noi forme de strîngere a legăturilor existente, de dezvoltare și de aprofundare a lor. Aspectul lor va depinde evident atît de efortul profesorului cît și de cel al clasei, de capacitatea ei de asociere și de activitatea ulterioară de însușire și aprofundare, acești din urmă factori reflectînd munca individuală, personală a elevilor. Problema include modul cum se manifestă aceste legături recunoscute unanim în etapele incipiente ale studiului fizicii, chimiei și matematicii — motiv pentru care s-a ales un grup de elevi ai claselor mici — prin tratarea sumei de factori și activități care conlucrează în procesul de asimilare al acestor materii.

În cele ce urmează se dă o tratare cantitativă a acestor legături utilizînd metodele statisticei matematice.

În tabela Nr. 1 s-au înscris mediile anuale de matematică, (m), fizică (f) și chimie (c) obținute de un grup de 55 de elevi din clasele a opta ale școlii generale de 8 ani din Agnita, Regiunea Brașov în anul școlar 1965—1966.

Datele negrupate au fost prelucrate cu o mașină digitală de calcul după procedeul standard. Abaterile medii pătratice s-au calculat după formule de tipul :

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\Sigma X_2^i}{n} - \overline{X}^2}$$

și coeficienții de corelație după formula lui Pearson, scrisă sub forma :

$$r_{x,y} = \frac{\left[\frac{1}{n}\sum (X_i\, Y_i)\right] - \overline{X}\,\overline{Y}}{\sigma_x\, \sigma_y} \qquad (1)$$

Tabela Nr. 1

Notele generale anuale la matematică, fizică și chimie

Nr. crt.	m	f	c	Nr. crt.	m	f	c
1	5,66	5,33	5,33	29	8,00	8,00	7,66
2	7,00	6,33	5,00	30	10,00	10,00	10,00
3	6,33	7,00	6,66	31	6,33	7,00	6,00
4	7,00	6,00	5,33	32	6,00	7,33	6,6
5	9,00	8,66	7,33	33	8,00	8,60	7,66
6	7,00	7,66	5,00	34	9,33	9,66	9,66
7	8,33	8,00	7,66	35	9,33	9,66	10,0
8	6,33	7,66	7,0	36	7,66	8,33	8,66
9	9,00	8,33	8,66	37	5,66	7,00	5,66
10	6,33	6,66	7,00	38	5,66	6,33	5,66
11	4,33	4,66	4,33	39	8,33	8,00	7,33
12	7,66	8,00	9,33	40	7,00	8,00	7,66
13	8,66	9,00	9,66	41	8,00	8,00	8,66
14	5,33	4,33	5,00	42	5,00	6,00	7,0
15	7,00	8,00	8,33	43	5,33	6,66	6,33
16	7,66	7,66	7,00	64	7,66	7,33	7,00
17	8,33	7,66	8,66	45	8,00	9,33	8,66
18	6,66	8,66	8,33	46	5,33	6,66	6,00
19	7,00	7,00	6,66	47	5,66	6,33	6,00
20	8,33	8,66	8,66	48	7,33	7,33	8,66
21	7,00	8,66	9,66	49	5,00	5,00	5,33
22	7,00	8,33	9,00	50	6,00	7,33	6,66
23	8,33	8,66	7,33	51	6,66	7,33	8,00
24	9,00	8,00	9,00	52	8,66	7,66	6,66
25	7,66	8,00	8,66	53	9,33	9,66	9,66
26	7,33	9,66	10,00	54	7,00	8,00	9,00
27	7,33	6,66	6,33	55	8,00	8,33	9,66
28	4,33	5,33	5,33				

Ecuațiile regresiei liniare care pentru o pereche de parametri au următoarea formă generală :

$$Y - \overline{Y} = r \cdot \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \cdot (X - \overline{X})$$

pentru regresia lui Y în raport cu X și respectiv :

$$X - \overline{X} = r \frac{\sigma_x}{\sigma_x} (Y - \overline{Y})$$

pentru ecuația de regresie a lui Y față de X

Notațiile sînt cele folosite curent în analiza statistică.

Exactitatea calculelor s-a verificat cu ajutorul sumelor de forma :

$$\sum_{i=1}^{i=55} (X_i + Y_i)^2 = \sum_{i=1}^{i=55} X_i^2 + \sum_{i=1}^{i=55} Y_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{i=55} X_i\, Y_i \qquad (2)$$

În cazul celor 3 grupe de date, reprezentînd m notele la matematică, f la fizică și c la chimie s-au calculat sumele simple :

$$\Sigma mi = 395{,}18\,; \quad \Sigma fi = 417{,}18\,; \quad \Sigma ci = 412{,}13\,;$$

valorile mediilor aritmetice simple :

$$\overline{m} = 7{,}18\,; \quad \overline{f} = 7{,}59\,; \quad \overline{c} = 7{,}49\,;$$

și abaterile medii pătratice :

$$\sigma_m = 1{,}36\,; \quad \sigma_f = 1{,}28 \quad \text{și} \quad \sigma_c = 1{,}57$$

În calcul s-au folosit următoarele valori ale sumelor pătratice și sumelor produselor celor 3 grupe de date :

$$\Sigma m_i^2 = 2938,\ 5008\,; \qquad \Sigma f_i^2 = 3258,\ 7744 \text{ și}$$

$$\Sigma c_i^2 = 3221,\ 6301\,;$$

$$\Sigma m_i f_i = 3077,\ 3917\,; \qquad \Sigma m_i c_i = 3043,\ 91503 \text{ și}$$

$$\Sigma f_i c_i = 3222,\ 1262$$

S-au însumat de asemeni pătratele sumelor de forma :

$$\Sigma\,(m_i + f_i)^2 = 12.352,\ 0586$$

$$\Sigma\,(m_i + c_i)^2 = 12.247,\ 9609 \text{ și}$$

$$\Sigma\,(f_i + c_i)^2 = 12.924,\ 6569$$

valori care au servit la verificarea calculelor după egalitatea (*2*).

S-au obținut final prin permutări circulare după formula (*1*) următorii coeficienți de corelație simplă :

$$r_{m,f} = 0{,}83$$
$$r_{m,c} = 0{,}73$$
$$r_{f,c} = 0{,}86$$

și următoarele perechi de ecuații de regresie :

$$f = 0{,}78\ m + 1{,}99 \qquad (3)$$

$$m = 0{,}88\ f + 0{,}50 \qquad (4)$$

$$c = 0{,}84\ \mathrm{m} + 2{,}46 \qquad (5)$$

$$m = 0{,}63\ \mathrm{c} + 2{,}46 \qquad (6)$$

$$f = 0{,}70\ \mathrm{c} + 2{,}35 \qquad (7)$$

$$c = 1{,}05\ \mathrm{f} - 0{,}48 \qquad (8)$$

Coeficienții de corelație simplă pot fi interpretați ca o măsură a influențelor cauzelor comune, însumînd activitățile comune necesare pentru asimilarea celor 3 obiecte de studiu. Valorile astfel obținute se pot considera ca o măsură a gradului de legătură directă (sau funcțională) între materiile menționate. În cazul legii de distribuție normală un coefi-

cient de corelație, $r = \pm 1$ indică o legătură perfectă (funcțională) între cele 2 variabile în timp ce un coeficient de corelație nul constituie condiția necesară și suficientă ca cele 2 variabile să fie stohastic independente. Cu cît r este mai apropiat de 1 cu atît intensitatea corelației este mai accentuată.

Ținînd seama de semnificația coeficientului de corelație, pe baza valorilor obținute, se confirmă că între matematică și fizică ($r_{m,f} = 0{,}83$) pe deoparte și între fizică și chimie ($r_{f,c} = 0{,}86$) pe de altă parte, există o legătură interdependentă strînsă mult mai marcată decît între matematică și chimie ($r_{m,c} = 0{,}73$) și care se manifestă încă de la începutul studiului simultan al acestor discipline la elevii claselor mici. Dacă se poate considera satisfăcătoare interpretarea fizică a coeficientului de corelație după care acesta reprezintă procentual suma de factori și activități comune legate de procesul de înțelegere și asimilare, pentru eșantionul de date luat în studiu, se poate afirma că de ex. pentru fizică și chimie, coeficientul de corelație fiind $r_{f,c} = 0{,}86$, aproximativ 86% din suma acestor factori și activități sînt comune. Este demonstrat că dacă X este o funcție liniară de $i + k$ variabile independente a căror contribuție este egală la valorile ei și dacă Y este o funcție analogă de $j + k$ variabile independente, k fiind numărul variabilelor comune lui X și Y atunci :

$$r = \frac{k}{(i + k)(j + k)}$$

r reprezentînd o măsură a influenței cauzelor comune.

Pe de altă parte coeficienții de corelație, $r_{m,f}$ și $r_{f,c}$ pun în evidență faptul că, în acest stadiu, gradul de independență între fizică și chimie este aproximativ același cu acela dintre fizică și matematică. Dacă se atribue o semnificație absolută diferenței între acești coeficienți corelația între fizică și chimie la gradul de elevi luați în studiu este mai strînsă față de aceia dintre fizică și matematică. Într-o etapă de studiu superioară, pentru un grup de studenți [1] coeficientul de corelație între fizică și matematică a fost găsit mai mic și anume egal cu 0,62, (reflectînd totuși o legătură strînsă), probabil din cauza aprofundării aspectelor experimentale ale fizicii și creșterii concomitente a dificultății și caracterului abstract — simbolic al aparatului matematic ajutător sau a altor particularități de obiect și metodă la acest nivel care conduc în acest caz la realizarea unui grad mai mic al stringenței legăturilor funcționale între obiecte.

Ecuațiile de regresie, (*3*) — (*8*) au caracterul unor ecuații de predicțiune. Ele permit să se calculeze valoarea medie cea mai probabilă, de pildă, a notei la chimie a unui elev cunoscînd nota sa la fizică și *vice-versa*. Procedeul se poate aplica pentru fiecare din perechile de materii care interesează cu mențiunea că ecuația regresiei liniare (*8*), a notelor chimie în raport cu notele la fizică nu poate fi utilizată pentru obținerea valorii lui f rezolvînd ecuația respectivă în raport cu c, după cum este cunoscut din teoria corelației, ci numai utilizînd perechea ei corespondentă, ecuația (*7*).

Presupunînd că un elev are nota generală (media) 7 la chimie care vor fi notele sale cele mai probabile la fizică și matematică ? Din ecuațiile (*6*) și (*7*) rezultă că acestea vor fi respectiv 7,25 și 6, 87. Conform ecuațiilor (*4*) și (*8*) valorile medii cele mai probabile ale notelor la matematică și

chimie ale unui elev care primește nota 8 la fizică vor fi 7,54 și 7,92 respectiv, și mai departe grupul de ecuații de regresie permit previziunea cea mai probabilă a oricărei alte note, cunoscînd valoarea notației la unul din obiectele date considerată ca variabilă independentă.

Rezultatele prelucrării datelor prezentate confirmă matematic legăturile strînse între fizică și chimie pe deoparte și între fizică și matematică pe de altă parte, bănuite și așteptate intuitiv și indică posibilitatea tratării cantitative a conexiunilor reciproce care există între aceste obiecte.

Unele din mijloacele practice de instruire mai adecvate, cuprinzînd exemple reușite care decurg din structura internă a obiectului fizicii și chimiei și care reflectă atît legăturile obiective cît și măsurile organizatorice de pregătire metodică în vederea realizării unei corelări logice, strînse și permanente, avînd în vedere capacitatea elevilor și posibilitățile lor de asimilare și sistematizare au fost examinate, de ex. de prof. A. Bejenaru în această revistă [2].

Tratarea cantitativă pe eșantioane constituite din date mai numeroase culese în etape diferite ale învățămîntului, (școală generală, liceu, învățămînt superior) pot constitui teste cantitative convingătoare atunci cînd se pune problema predării fizicii alături de matematică sau alături de studiul chimiei. Datele obținute pledează pentru asocierea fizică-chimie, dar și varianta fizică-matematică poate fi luată în considerare dacă se recunoaște teoretizarea tot mai accentuată a fizicii în etapele superioare ale predării și însușirii ei. În primele clase de studiu coeficienții de corelație între cele 2 perechi de materii sînt foarte apropiați.

Există în mod nemijlocit un factor subiectiv în notarea și aprecierea elevilor în cazul cînd două din obiectele de studiu menționate sînt predate de același profesor. Față de un alt eșantion de date presupus ca fiind de aceiași calitate, corelația între cele 2 obiecte va fi probabil mai strînsă în primul caz, diferența între coeficienții de corelație reprezentînd factorul amintit. Metodele statisticii matematice își pot găsi și în acest caz aplicații în pedagogia și psihologia procesului de instruire.

Studiul corelării și predării interdependente și a îmbunătățirii metodicii în vederea realizării unei corelări avansate în predarea fizicii și chimiei intră astfel în posesia unui test cantitativ ale cărui concluzii sînt certe în aceiași măsură în care concluziile statistice sînt general valabile.

REZUMAT

Prin metode statistice s-au prelucrat un număr de 3 grupe de date reprezentînd notele generale anuale la fizică, chimie și matematică obținute de un grup de 55 de elevi ai claselor mici. S-au calculat coeficienții de corelație și ecuațiile de regresie. Rezultatele s-au interpretat pe baza legăturilor reciproce și a sumei de factori și activități comune care intervin în procesul de predare și asimilare al celor trei discipline. Se arată posibilitatea tratării acestora pe baza unor teste cantitative și se indică unele aplicații metodice.

LITERATURA

1. *A. G. Worthing și J. Geffner*: „Prelucrarea datelor experimentale" trad. din l. engleză Edit. tehnică, Buc. 1959, p. 254.
2. *A. Bejenaru*: Rev. de Fizică și Chimie, Ser. A. vol. III. (1966) Nr. 11, p. 432.

VARIAȚIA PROPRIETĂȚILOR DIELECTRICE – ÎN FUNCȚIE DE TEMPERATURĂ ȘI DE FRECVENȚA CURENTULUI – A UNOR POLIMERI ORGANICI INDIGENI

LIDIA TITRATU-MOLDOVAN, VIOLETA BERINDE, VIORICA GUZIC

Facultatea de Fizică – București

În momentul de față utilizarea polimerilor ca dielectrici prezintă o importanță deosebită. Foarte multe materiale electroizolante folosite în industria electrotehnică au la bază diferiți polimeri organici. Dezvoltarea deosebită a producției de materiale plastice în țara noastră constituie baza materială pentru extinderea în continuare a utilizării acestora ca dielectrici. În literatura de specialitate se întîlnesc date referitoare la proprietățile dielectrice ale diferitelor produse străine. În ce privește comportarea — în funcție de temperatură și frecvența curentului — a materialelor plastice realizate în țara noastră, aceste date se întîlnesc sporadic mai ales atunci cînd e vorba de produse finite. De aceea considerăm că studiul proprietăților dielectrice ale produselor indigene precum și menținerea acestor proprietăți în timp nu este lipsit de interes.

Printre principalele variabile fizice, un rol important îl joacă temperatura, proprietățile electrice și termice ale sistemului de electrozi cît și lungimea de undă a tensiunii aplicate.

În lucrarea de față ne-am propus să determinăm influența acestor parametri asupra proprietăților respective ale substanțelor folosite în mod curent în industria noastră electrotehnică: polietilenă de înaltă presiune, polistiren, PVC rigid și PVC plastifiat cu 28% dioctilftalat. Toate aceste substanțe s-au utilizat sub formă de plăci avînd grosimea de 1,5—2 mm. Pe epruvete s-au aplicat electrozi aderenți de argint.

Influența temperaturii asupra permitivității și asupra tangentei unghiului de pierderi dielectrice a polimerilor studiați.

În prealabil epruvetele au fost termostatate și menținute la fiecare temperatură cel puțin 15 minute, înainte de începerea efectuării măsurătorilor. Rezultatele obținute sînt date în tabelul 1 și în fig.

Tabel 1

tg δ și ε în funcție de temperatură la frecvența de 800 Hz

	tg δ					ε				
	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C
Polistiren	0,0070	0,0078	0,0092	0,0111	0,0145	3,07	3,12	3,19	1,69	1,64
Polietilena	0,1024	0,0032	0,0041	0,0046	0,0056	2,32	2,27	1,84	1,82	1,80
PVC rigid	0,040	0,0444	0,0432	0,0625	0,1102	4	4,12	4,49	4,82	4,84
PVC plastif.	0,090	0,1002	0,0932	0,0595	0,0601	5,95	6,04	6,36	7,31	7,41

(1) și (2). Am urmărit variația lui ε și tg δ la polimerii nepolari: polietilena de înaltă presiune și polistiren (curba 1 și 2) fig. (1), cît și la polimerii polari PVC rigid și PVC plastifiat (curbele 3 și 4). Măsurătorile s-au efectuat la frecvența constantă de 800 Hz. În cazul polimerilor apolari, după cum era și de așteptat, s-a observat o foarte slabă

variație a permitivității. Se știe că în cazul polimerilor nepolari se verifică relația dată de Clausius-Mossotti:

$$P = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{4\pi}{3} N_A \cdot \alpha$$

în care P — polarizarea molară: ε — permitivitatea dielectrică M — masa moleculară a polimerului, ρ — densitatea absolută, N_A — numărul lui Avogadro ($6{,}024 \cdot 10^{23}$) α — polarizabilitatea moleculei.

De obicei α se exprimă ca sumă a 2 termeni:

$$\alpha = \alpha_e + \alpha_d$$

în care α_e — polarizabilitatea electronică independentă de temperatură și α_d — polarizabilitatea provocată de orientarea momentelor electrice dipolare permanente. Conform calculelor lui Debye [1,2]:

$$\alpha_d = \frac{\mu^2}{3KT}$$

în care μ — momentul dipolar, K — constanta lui Boltzmann ($1{,}38 \cdot 10^{-16}$ erg/°K) și T — temperatura absolută.

La polimerii apolari, cum este de pildă polietilena, polarizabilitatea de orientare poate să ia naștere din trei cauze: datorită momentelor de dipol ale legăturilor $C-H$, datorită momentelor legăturilor $C=C$ și datorită momentelor induse de impurități. Incrementele legăturilor de $C-H$ sînt mici și din cauza structurii moleculare a substanței dispar complet; s-a constatat de exemplu, că la toate moleculele de hidrocarburi parafinice studiate, momentele de dipol sînt egale cu zero [3]. Legăturile duble pot imprima moleculelor o oarecare polaritate, dar momentele lor sînt mici ($\sim 0{,}3$ debye) și concentrația lor este de asemenea mică [3]. Momentele induse de impurități joacă un rol oarecare dar trebuie să menționăm că în cazul polietilenei obișnuite, electrotehnice, acestea exercită o influență neînsemnată asupra permitivității dielectrice.

Ținînd cont de cele de mai sus rezultă că $\alpha_d = 0$, cu alte cuvinte întreaga polarizabilitate este electronică. Această ipoteză este verificată prin compararea valorilor lui ε și a lui n^2 (n — indice de refracție). Conform relației dată de Maxwell, $\varepsilon = n^2$, dacă ε și n^2 sînt măsurați la frecvențe egale. Dar dacă polarizarea este electronică, atunci ε nu depinde de frecvență și ecuația lui Maxwell rămîne valabilă pentru orice frecvență. Experimental s-a găsit pentru polietilenă la 25°, că $\varepsilon = 2{,}28 \pm 0{,}01$ și $n^2 = 2{,}295$ [4]. Aceste valori confirmă că $\alpha_d = 0$. Jackson și Forsyth consideră că permitivitatea dielectrică a polietilenei este egală cu 2,3 la 20° și 2,15 la 100° [5]. Von Hippel comunică [6] că la o anumită epruvetă de polietilenă, valoarea lui ε nu varia într-un interval de temperaturi de la 24 pînă la 80°. Mc Call consideră această comunicare puțin probabilă, avîndu-se în vedere variația densității cu temperatura [7].

În cazul polietilenei românești am obținut experimental că $\varepsilon = 2{,}32$ la $t° = 20°C$. Ușoara scădere a permitivității odată că creșterea temperaturii (fig. 1) se explică prin dilatarea termică a dielectricului, fapt ce conduce la micșorarea numărului de particole în unitatea de volum. La polistiren însă curba variației lui ε în funcție de temperatură, prezintă unele abateri față de aspectul ei prevăzut teoretic. În primul rînd la temperatura ambiantă ($t° = 20°C$) permitivitatea polistirenului găsită

experimental are valoarea de 3,07 spre deosebire de cea dată în literatura universală ($\varepsilon = 2{,}5$). Pînă la temperatura de 60°C, se observă o ușoară creștere a permitivității după care valoarea lui ε scade brusc. Acest fenomen este atribuit de către autori, polarizării induse, datorită prezenței diferitelor impurități în polistirenul indigen. Ca atare, pînă la 60°C odată cu creșterea temperaturii, forțele intermoleculare încep să scadă, dipolii induși de impurități se pot roti din ce în ce mai ușor spre a se așeza în direcția cîmpului și ε crește. Scăderea relativ bruscă a lui ε între 60° — 80° se explică prin faptul că slăbirea continuă a forțelor intermoleculare dirijate contribuie ca acțiunea de dezorientare a agitației termice să devină tot mai eficace, ceece a stînjenește orientarea dipolilor indu și în consecință ε scade.

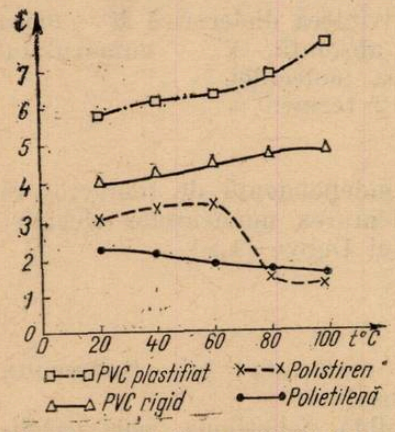


Fig. 1. — Variația permitivității dielectrice (ε) în funcție de temperatură.

În cazul *PVC* rigid și *PVC* plastifiat, structura polară a acestor polimeri mărește mult valoarea permitivității lor față de cea a polimerilor nepolari. Spre deosebire de polimerii nepolari, din grafic se observă creșterea valorii lui ε odată cu temperatura, caracteristică dielectricilor polari. În plus dependența de temperatură este mai mare la PVC plastifiat ca la PVC rigid și anume, această variație a lui ε pentru PVC este mai accentuată la temperaturi mai mari. Fenomenul se explică

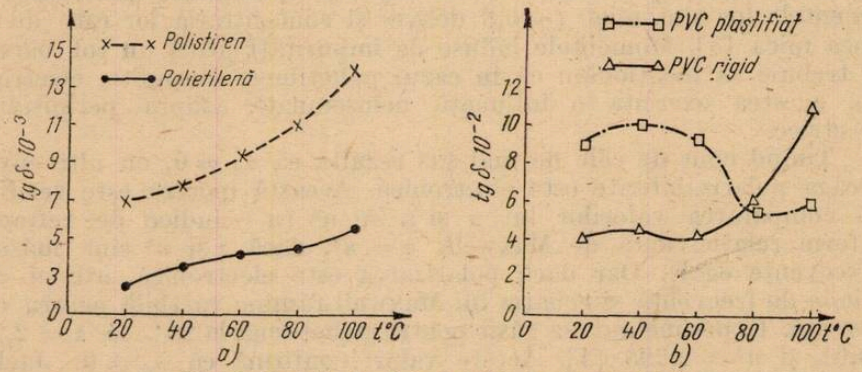


Fig. 2. Variația tg δ în funcție de temperatură

prin influența plastifierii asupra proprietăților PVC a cărui compatibilitate este foarte bună cu plastifianți ce conțin grupări polare și în special cu dioctilftalat. Creșterea valorii permitivității datorită plastifiantului odată cu temperatura este justificată pe de o parte prin mărirea fluidității sistemului ceea ce ușurează polarizarea de orientare a moleculelor de PVC asimetrice și pe de altă parte prin faptul că valoarea permitivității a dioctilftalatului însuși este mai mare decît a PVC neplastifiat.

Trecînd acum la studiul variației tangentei unghiului de pierderi dielectrice în funcție de temperatură, a acelorași polimeri, am obținut rezultatele înscrise în tabelul 1 și în fig. 2 (a și b).

În concordanță cu datele experimentale aflate în literatura universală, în cazul nostru s-a pus de asemenea în evidență faptul că și pentru polimerii indigeni nepolari, ca polietilena de înaltă presiune și polistiren, variațiile pierderilor dielectrice sînt mai mici ca pentru polimerii polari fig. (2a). În cazul polimerilor nepolari, nu are loc fenomenul de relaxare a dipolilor și din cauza aceasta pierderile se datoresc numai conductivității, iar aceasta din urmă datorită prezenței de impurități. Din cauza acestora, polistirenul indigen prezintă valori mai mari ale tgδ față de cele date în literatură pentru produse străine [6, 8, 9].

La polimerii polari (fig. 2b) datorită polarizării dipolice (de orientare), pierderile dielectrice sînt mai mari pentru una și aceeași frecvență dată. La PVC plastifiat, pentru frecvența de 800 Hz, la care s-a lucrat, se observă un maximum corespunzător temperaturii de 40°C și un minimum la $t = 80°C$. Variația anomală a tg δ pentru PVC plastifiat este atribuită de către autori, polarizării continue a polimerului pînă la 40° după care începe degradarea epruvetei date. Scăderea valorii tg δ se datorește bineînțeles și conținutului de plastifiant în epruvetă.

Variația permitivității și a tangentei unghiului de pierderi dielectrice în funcție de frecvența curentului.

S-a urmărit variația acestor parametri la frecvența de 50 și 800 Hz, 1 Mhz și 50 Mhz. Determinările valorilor tgδ și ε la frecvența de 50 Hz, în condiții normale de temperatură și umiditate, s-au făcut cu o punte tip Schering. Pentru o mai mare precizie în măsurare, s-a lucrat la tensiunea de 3 KV. La frecvența de 800 Hz s-a utilizat o punte de frecvență audio tip „Ulrich 941" iar la frecvențele de 1 Mhz și 50 MHz s-a folosit Q-metrul tip RFT și respectiv tip Tesla. Rezultatele obținute sînt trecute în tabelul 2.

Tabel 2

tg δ și ε în funcție de frecvență (ν)

	tg δ				ε			
	50 Hz	800 Hz	1 Mhz	50 Mhz	50 Hz	800 Hz	1 Mhz	50 Mhz
Polistiren	0,0056	0,0073	0,0092	0,0123	3,18	3,2	3,29	2,88
Polietilenă	0,00047	0,0006	0,00053	0,0079	2,09	2,24	2,29	2,37
PVC rigid	0,0164	0,0353	0,052	0,0270	4,33	4,04	3,32	3,08
PVC plastif.	0,0715	0,0822	0,09	0,102	5,61	4,8	2,75	2,1

Pentru polimerii nepolari (polistiren și polietilenă după cum era și de așteptat, s-a verificat faptul că valorile tg δ și ε cresc foarte puțin cu frecvența (fig. 3). Aceste variații mici, caracteristice polarizării de orientare, pot fi legate de polistiren, de prezența resturilor de catalizatori iar la polietilenă, de prezența dipolilor străini care pot fi grupări carbonil introduse prin oxidare accidentală în timpul preparării materialului.

Schakelton a obținut pentru permitivitatea dielectrică a polietilenei valoarea 2,3 în intervalul de frecvențe cuprins între $10^2 - 10^{10}$ Hz [10]. Von Hippel [6] dă valorile 2,25 și 2,26 pentru două epruvete diferite, în intervalul de frecvențe între $10^2 - 10^{10}$ Hz. Tot el menționează că la 80°, $\varepsilon = 2{,}25$ pentru frecvența egală cu $3 \cdot 10^{10}$ Hz și $\varepsilon = 2{,}20$ la frecvența $= 1 \cdot 10^{10}$ Hz. Hunter și Oakes [11] dau valorile $\varepsilon = 2{,}3$ pentru polietilenă la 20° și pentru frecvențele cuprinse de la 50 la $2{,}10^9$ Hz

și $\varepsilon = 2{,}15$ la 70° în același interval de frecvențe. Jackson și Forsyth au găsit că permitivitatea dielectrică a polietilenei la 20° este egală cu 2,3 iar la 100°, $\varepsilon = 2{,}15$. Ei menționează că ambele valori sînt independente de frecvență în intervalul de la 50 la $2 \cdot 10^9$ Hz.

În ce privește variația permitivității la polimerii polari studiați, din tabel și din grafic se vede că plastifierea mărește valoarea lui ε în

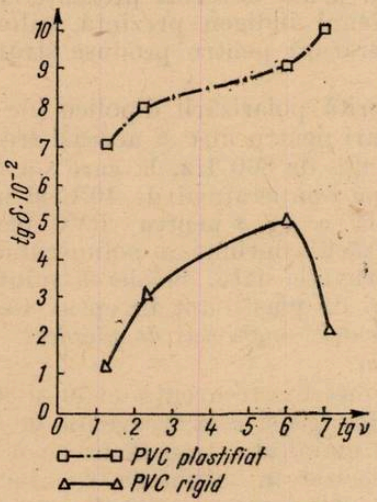


Fig. 3. Variația permitivității dielectrice (ε) în funcție de frecvență (log. ν).

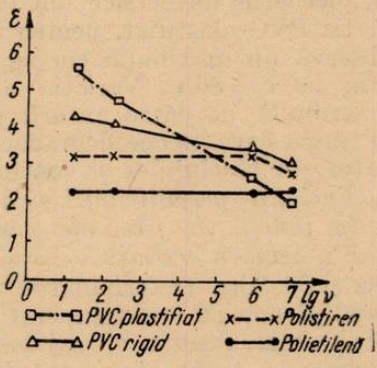


Fig. 4 Variația tg. δ în funcți de frecvență (log ν)

cazul frecvențelor joase. Această creștere a valorii ε se atribuie micșorării vîscozității sistemului, ca o consecință a plastifierii și prin urmare înlesnirii procesului de polarizare dipolică a moleculelor de polimer. Odată cu creșterea frecvenței curentului aplicat, polarizarea de orientare (dipolică) scade și odată cu aceasta scade și valoarea.

Trecînd la analiza valorilor tg δ pentru aceleași epruvete de PVC rigid și PVC plastifiat cu 28% de dioctilftalat, se observă că la $\nu = 1$ MHz, tg δ pentru PVC rigid prezintă un maxim, caracteristic polimerilor polari și care, conform părerilor lui Kobeko, Mihailov și Novicov dovedește manifestarea pierderilor dielectrice structurale, provocate de rotirea unităților finale ale lanțurilor și determinate de împachetarea necompactă a moleculelor. Atît din tabel cît și din grafic se observă pentru PVC plastifiat creșterea valorilor absolute ale tgδ odată cu frecvența curentului. Fenomenul se poate explica pornind de la concepțiile exprimate de Karghin și Slonimschi conform cărora plastifierea sporind elasticitatea lanțurilor de polimer, contribuie la mărirea mobilității unităților elementare ale acestuia, fapt confirmat experimental și în cazul nostru.

BIBLIOGRAFIE

[1] *Debye P.*, Polar Molecules, Doker Publications, New-York, 1929.
[2] *Böttcher C. J. F.*, — Theory of Electric Polarization, Elsevier Publishing Co, Amsterdam, 1952.
[3] *Smyth C. P.*, Dielectric Behavior and Structure, Mc.Graw-Hill Book, C, New-York, 1955.
[4] *Bryant W. M. D.*, J. Polymer Sci, 2, 547 (1947).

[5] *Jackson W., Forsyth J. S. A.*, J. Instr. Electr. Engrs, 92, Part. III, 23 (1945).
[6] *Von Hippel A.*, — Dielectric Materials and Applications John Wiley and Sons, New-York 1955, p. 327.
[7] *Mc. Call D. W.*, Polythene ed. by A. Renfrew and Ph. Morgan, London, — New-York, 1960, p. 147.
[8] *Scanavi G. I.* Fizica dielectricov, 1958.
[9] *Bogoroditchi N. P.* și *Pasincov V. V.* — Materiale folosite în radioelectronică, 1963.
[10] *Schakelton J. W.* Trans. Am. Instr. Elect. Engrs, 64, 912, (1945).
[11] *Hunter E., Oakes W. G.* Brit. Plastics, 17, 94 (1945).

ORTOHIDROGENUL ȘI PARAHIDROGENUL

de Asist. univ. *GHEORGHE GORBĂNESCU.* Universitatea Iași. Catedra de fizică teoretică și structura materiei.

Hidrogenul, este elementul chimic al cărui atom, are cea mai simplă structură; un nucleu în jurul căruia se mișcă un electron. Cu toate acestea astăzi se știe că există mai multe feluri de hidrogen.

În stare liberă, hidrogenul se găsește sub formă moleculară, cu molecula formată din doi atomi (H_2). Legătura chimică de tip covalent este foarte stabilă și mult timp nu s-a cunoscut hidrogenul sub formă atomică.

Abia în anul 1912 Langmuir, [1] a descoperit că firele metalice puternic încălzite absorb H_2 și pun în libertate hidrogenul atomic. Reacția de disociere are randament mai mare de 1% numai dacă temperatura trece de 2000°K. Energia de disociere atinge după unele observații (102,55—103,4) kcal/mol [2]—[4]. Hidrogenul atomic este foarte nestabil. El trece rapid în hidrogen molecular sau se combină cu metalele degajînd căldură.

O proprietate comună atît hidrogenului atomic cît și celui molecular este fenomenul de izotopie. Izotopii cei mai cunoscuți ai hidrogenului atomic sînt protiul (H), deuteriul (D) și tritiul al cărui simbol este (T).

Existența deuteriului a fost prezisă de către Rutherford [5] într-un celebru articol în care prevedea și existența neutronului. După încercările lui Aston, Birge și Menzel [6] cinstea descoperirii acestui izotop revine echipei de savanți americani condusă de Urey [7] care l-au identificat prin analiza spectrală.

Cel de al treilea izotop a fost căutat [8] cu spectrograful de masă Aston într-o probă de deuteriu foarte concentrat. Rezultatele nu au fost concludente. Cantități mai mari de tritiu s-au obținut din reacția nucleară

$$D + D \rightarrow T + H \qquad (1)$$

Indiferent de modul cum ia naștere tritiul este β radioactiv. Perioada de înjumătățire după cele mai noi măsurători este de 12,262 ani [10].

Hidrogenul natural este format din (99,9849—99,9861)% protiu, (0,0151—0,0139)% deuteriu și un procent neglijabil de tritiu. Ținînd seama de toate acestea rezultă că hidrogenul molecular se găsește în șase variante izotopice — H_2, HD, D_2, HT, DT, T_2 — din care mai importante sînt primele trei.

Istoria ortohidrogenului și parahidrogenului începe cu unele constatări asupra spectrului hidrogenului molecular. În anul 1924 R. Mecke

[11] a observat că spectrul de bandă al hidrogenului era brăzdat de dungi luminoase și întunecoase alternativ, ceea ce l-a făcut să presupună că există două feluri de hidrogen. Împrumutînd termeni din spectroscopie a numit varietatea mai bogată ortohidrogen și cea de pondere mai mică parahidrogen.

Un alt fapt nu mai puțin semnificativ fusese descoperit de Eucken [12], [13] la proprietățile termice ale hidrogenului. Mai ales la temperaturi joase (0—250)°K a constatat existența unui „efect cuantic" care nu apare de exemplu la aer [14]. Curba experimentală $C_v = f(T)$ prezenta o serie de anomalii care nu se puteau explica cu legile fizicii clasice.

Toate particularitățile de comportare ale hidrogenului molecular au fost clarificate pe baza legilor mecanicii cuantice după ce Goudsmith și Uhlenbeck [15] au introdus noțiunea de spin al electronului. Prin analogie Heisenberg [16] vorbește de spinul nuclear și de stări de spin simetrice și antisimetrice la o moleculă biatomică. Reluînd aceste idei Hund [17] și Dennison [18] au arătat că hidrogenul obișnuit este un amestec de două componente avînd simetrie de spin nuclear diferită. Tranzițiile dintre ele sînt puțin probabile și la o temperatură dată echilibrul se stabilește cu greutate.

În limbajul de azi al mecanicii cuantice [19] spunem că starea unei molecule este descrisă de funcția de undă ψ care depinde de translația și rotația moleculei ca un întreg, de oscilațiile nucleelor care o compun, de configurația electronică la un moment dat și de spinul nuclear. Cea mai convenabilă metodă pentru a lua în considerare toate acestea este să punem :

$$\psi = \psi_{transl.}\ \psi_{rot.}\ \psi_{osc.}\ \psi_{electronic}\ \psi_{spin\ nucl.}.$$

Funcția de undă trebuie să fie simetrică sau antisimetrică la permutarea coordonatelor a două nuclee identice. După modul cum se realizează aceasta molecula va urma legile statisticii Bose-Einstein sau Fermi-Dirac [20], [21]. Apartenența la una din cele două statistici se stabilește cu teorema lui Ehrenfest-Oppenheymer [22]. Ea demonstrează că simetria funcției ψ a moleculei biatomice formată din două nuclee identice este dată de $(-1)^A$ unde A este numărul de nucleoni dintr-un nucleu. Nucleele cu A par au numărul cuantic I al momentului cinetic nuclear întreg iar cele cu A impar semiîntreg [20], [21]. În starea fundamentală simetria funcției de undă este determinată de $\psi_{rot.}$ și $\psi_{sp.\,nucl.}$ încît putem scrie

$$\psi = C\psi_{rot.}\ \psi_{sp.\,nucl.}\ . \qquad (2)$$

Să presupunem că avem o moleculă biatomică homonucleară, fiecare din nuclee avînd numărul cuantic de spin I. Cum numărul cuantic I_z al proiecției momentului cinetic nuclear pe o direcție are $2I + 1$ valori, molecula se va putea găsi în $(2I + 1)^2$ stări de spin toate avînd aceiași energie. Dintre acestea $(2I + 1)(I + 1)$ vor fi simetrice iar $I(2I + 1)$ antisimetrice în spin nuclear [19].

Simetria funcției spațiale ψ_{rot} depinde de numărul cuantic j al momentului cinetic al rotației moleculare. La aceiași energie corespund cu totul $(2j + 1)$ funcții ψ_{rot} care sînt simetrice pentru j par și antisimetrice pentru j impar [19], [20].

La molecula formată din nuclee cu spin semiîntreg antisimetria funcției totale se realizează în $g_p = (2j+1)(I(2I+1)$ moduri cînd j este par și în $g_0 = (2j+1)(I+1)(2I+1)$ cînd j este impar.

Dacă nucleele moleculei se supun statisticii Bose-Einstein simetria funcției se realizează în $g_0 = (2j+1)I(2I+1)$ moduri cînd j este impar și în $g_p = (2j+1)(2I+1)(I+1)$ moduri cînd j este par.

Starea moleculei homonucleare se numește stare orto dacă $\psi_{sp.\,nucl.}$ este simetrică și para cînd $\psi_{sp.\,nucl}$ este antisimetrică.

La molecula biatomică heteronucleară ponderea nivelului de rotație este tot $(2j+1)$. Dacă nucleele moleculei au numerele cuantice de spin I_1 și I_2 molecula se va găsi în $(2I_1+1)(2I_2+1)$ spinstări. Rezultă că ponderea statistică a unui nivel de energie va fi $g = 2(j+1)(2I_1 + +1)(2I_2+1)$. În acest caz cerințele de simetrie cad și toate stările se realizează.

Aceste proprietăți cuantice se pot lua în consideraro la efectele termice prin intermediul sumei statistice moleculare. Se știe că energia medie a unei molecule se găsește din relația [19]

$$\overline{E} = \frac{\sum g_i E_i e^{-\frac{Ei}{kT}}}{\sum g_i e^{-\frac{Ei}{kT}}} = kT^2, \text{ unde}$$

$Q = \sum g_i e^{-\frac{Ei}{kT}}$ este suma statistică și g_i ponderea statistică a nivelului energetic E_i.

În cazul rotației, $E_i = j(j+1)\frac{h^2}{8\pi^2 J}$ unde J este momentul de inerție molecular.

Pentru un mol de gaz $U = N \cdot \overline{E}$ și putem calcula capacitatea caorică la volum constant

$$C_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v = R\frac{\partial}{\partial T}\left(T^2\frac{\partial \ln Q}{\partial T}\right)_v \qquad (3)$$

La protiu și tritiu $I = 1/2$ și deci

$$Q_{orto} = \sum_{j\,impar} 3(2j+1)\,e^{-j(j+1)B/kT}$$

$Q_{para} = \sum_{j\,par}(2j+1)\,e^{-j(j+1)B/kT}$, cu singura excepție că constanta $B = \frac{h^2}{8\pi^2 J}$ are altă valoare.

La deuteriu $I = 1$ și rezultă

$$Q_{orto} = \sum_{jpar} 6(2j+1)\,e^{-j(j+1)B/kT}.$$

$$Q_{para} = \sum_{j\,impar} 3(2j+1)\,e^{-j(j+1)B/kT}$$

La molecula HD $I_1 = 1/2$, $I_2 = 1$ și

$$Q_{HD} = \sum_j 6(2j+1)\,e^{-j(j+1)B/kT}$$

Cu relația (3) se calculează capacitatea calorică a fiecărei componente din amestec (fig. 1) [23].

Capacitatea calorică a amestecului de gaze oH_2, pH_2, oD_2, pD_2 și HD se găsește dacă se știe procentul în greutate al fiecăruia dintr-o masa de gaz egală cu un mol. După modul cum a fost calculată, această capacitate calorică molară se datorește numai rotației moleculare. În afară de rotație, molecula biatomică mai are translații și chiar vibrații. Dacă ținem seama și de acestea rezultă pentru căldură la volum constant $C_{rtl} + \frac{5}{2} R$.

Deși formele orto și para tind să-și păstreze autonomia conform legilor mecanicii cuantice, datorită perturbațiilor ele trec totuși una

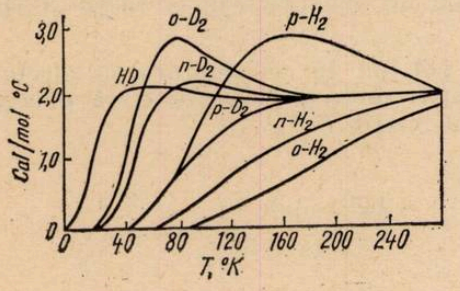


Fig. 1

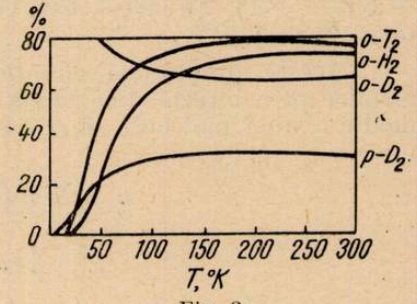


Fig. 2

în alta. Pentru o temperatură oarecare, constanta de echilibru orto-para este egală cu raportul sumelor statistice.

$$\frac{[oH_2]}{[pH_2]} = \frac{3\,(3\,e^{-2B/kT} + 7\,e^{-12\,B/kT} + 11\,e^{-30\,B/kT} + \ldots)}{1\,(1 + 5\,e^{-6\,B/kT} + 9\,e^{-20\,B/kT} + \ldots)}$$

$$\frac{[oD_2]}{[pD_2]} = \frac{6\,(1 + 5\,e^{-6\,B/kT} + 9\,e^{-20\,B/kT} + \ldots)}{3\,(3\,e^{-2\,B/kT} + 7\,e^{-12\,B/kT} + 11\,e^{-30\,B/kT} + \ldots)}$$

Un calcul amănunțit ne arată că la temperaturi mari $\frac{[oH_2]}{[pH_2]} = 3$ și $\frac{[oD_2]}{[pD_2]} = 2$ iar la temperaturi joase $\frac{[oH_2]}{[pD_2]} = 0$ și $\frac{[oD_2]}{[pD_2]} = \infty$. În fig. 2 sînt date graficele teoretice ale variației formelor orto și para cu temperatura. Se consideră drept amestec normal acela care conține 25 % pH_2 și 75 % oH_2.

Acum devine clară și alternanța de intensități în spectrul de bandă. Regulile de selecție interzic trazițiile radiative orto-para. Din acest motiv componenta mai bogată va da un spectru mai intens. Aceasta s-a și folosit ca metodă pentru dozarea spectrofotometrică a ortohidrogenului [24].

Fenomenul orto-para apare la orice gaz biatonic cu molecule homonucleare dar s-a reușit să se separe cele două forme numai la hidrogen.

Altă metodă de dozare se bazează pe conductibilitatea termică diferită a formelor orto și para. Bonhoeffer și Hartek [25 au construit celule de conductibilitate speciale în care un fir încălzit se afla într-o

atmosferă orto-para. Din valoarea conductibilității termice măsurate au dedus compoziția amestecului.

După cum s-a mai amintit, la temperatura camerei și ceva mai sus hidrogenul constă din 75% oH_2 și 25% pH_2. Pe măsură ce temperatura scade concentrația de echilibru a formei para crește și la temperatura de fierbere a hidrogenului lichid (20,4°K) atinge 99,79% încît practic există numai pH_2.

Conversia prin scăderea temperaturii a fost realizată prima dată de Bonhoeffer și Hartek [26] – [28] prin răcirea hidrogenului la presiune redusă cu hidrogen lichid. Eucken și Hiler au utilizat în același scop aerul lichid. Bonhoeffer și Hartek au mărit viteza de conversie prin folosirea catalizatorului de cărbune activat, În acest caz timpul de echilibrare se reduce de la cîteva zeci de zile la ore sau minute.

Parahidrogenul aproape pur rămîne în această situație timp indelungat; perioada de înjumătățire calculată este de trei ani. Ridicînd din nou bursc temperatura se obține parahidrogen aproape pur la temperatura camerei. Reconversia para-orto se face prin încălzire treptată sau prin alte metode [4], [10], [31]. Forma orto pură însă nu se obține niciodată.

Conversia orto-para este însoțită de emisia căldurii de conversie L care depinde de temperatură (tabelul 1). De aceea înainte de lichefiere, hidrogenul se transformă în parahidrogen și apoi se păstrează, pericolul de evaporare fiind mult diminuat.

Tabei 1

T°K	L cal/mol	T°K	L cal/mol
10	338,648	80	330,164
20	338,649	90	321,700
20,39	338,648	100	309,440
30	338,648	120	274,475
33,1	338,648	150	207,175
40	338,634	200	105,20
50	338,460	250	45,31
60	337,616	298,16	18,35
70	335,200	300	17,71

Tabel 2

	Punct înghet	Punct fierbere
nH_2	13,92°K	20,38°K
pH_2	13,88°K	20,29°K
oH_2	13,93°K	20,41°K

Cele două varietăți au punct de fierbere și de topire diferit (tabel 2).

Alte date fizice se referă la conductibilitatea termică diferită, căldura de topire, căldura de vaporizare, vîscozitate care nu sînt identice

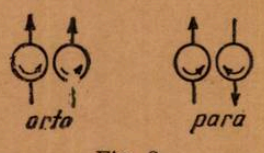


Fig. 3

pentru cele două forme. Proprietățile lor chimice sînt însă identice și este normal să fie așa deoarece configurația electronică rămîne neschimbată (electronii cu spinii antiparaleli).

Se schimbă doar orientarea spinilor nucleari. Folosind o imagine intuitivă spunem că forma orto are spinii paraleli iar para antiparaleli

[32] (fig. 3). Aceste analogii însă nu pot fi duse prea departe deoarece numai rotația nucleului nu epuizează natura spinului.

Parahidrogenul și ortohidrogenul au aplicații științifice interesante; studiind împrăștierea neutronilor pe parahidrogen pur și pe hidrogen normal se pot trage concluzii relative la rolul spinului în interacțiunile nucleare. S-a găsit că [20] secțiunea de difuzie depinde de spinul nuclear. Întreaga chestiune este un exemplu interesant de modul cum fenomenele microscopice determină comportarea macroscopică a unui sistem.

BIBLIOGRAFIA

1. *I. Langmuir*: Amer. Chem. Soc. Jurn., 34, 1310, (1912).
2. *H. Beutler*: Zts. f. Phys. Chem. (B), 29, 327, (1935).
3. *T. Vescan*: Fizică teoretică II, București, (1957).
4. *N. V. Sidgwick*: The chemical elements and their compounds I, Oxford, (1950).
5. *E. Rutherford*: Proc. Roy. Soc., 97, 396, (1920).
6. *R. T. Birge, D. H. Menzel*: Phys. Rev., 37, 1670, (1931).
7. *H. C. Urey, F. G. Brickwede, G. M. Murphy*: Phys. Rev., 39, 864, (1932). Φ
8. *M. L. Oliphant, P. Hartek, Lord Rutherford*: Proc. Roy. Soc., 144, 692, (1934).
9. *W. Bleakney, G. P. Harnwell, W. W. Losier, P. T. Smyth, H. D. Smyth*: Phys. Rev., 46, 81, (1934).
10. *Jidkii vodorog* (Sb. per. pod red. *M. P. Malkova*) Izdatelstvo MIR, Moskva, (1964).
11. *R. Mecke*: Phys. Zts., 25, 597, (1924).
12. *A. Eucken*: Berl. Akad. Ber., 175, (1921).
13. *A. Eucken*: Verh. d. D. Phys. Ges., 18, 4, (1916).
14. Handbuch der Experimentalphysik VIII/1, (1929).
15. *S. Goudsmith, G. Uhlenbeck*: Naturwiss, 13, 953, (1925).
16. *W. Heisenberg* Zts. f. Phys., 41, 239, (1927).
17. *F. Hund*: Zts. f. Phys., 42 93, (1927).
18. *D. M. Dennison*: Proc. Roy. Soc., 115, 483, (1927).
19. *I. N. Godnev*: Vîcislenie termodinamiceschih funkții po molekulearnîm dannîm, Moscva, (1956).
20. *V. V. Malearov*: Bazele teoriei nucleului atomic, Ed. Tehn., București, (1961).
21. *J. M. Blatt, V. F. Weisskopf*: Theoretical nuclear physics, New-York — London, (1952).
22. *P. Ehrenfest, J. Oppenheimer*: Phys. Rev., 37, 333, (1931).
23. *A. Farkas*: Ortohidrogen, Parahidrogen and Heavy Hidrogen, Cambridge, (1935).
24. *W. Kapuczinski, J. G. Eymers*: Proc. Roy. Soc., 122, 58, (1929).
26. *K. Bonhoeffer, P. Hartek*: Zts. f. Phys. Chem. (B), 4, 113, (1929).
27. *K. Bonhoeffer, P. Hartek*: Berl. Akad, Ber., 103, (1929).
28. *K. Bonhoeffer, P. Hartek*: *Naturwiss.* 17, 182, (1929).
29. *A. Eucken*: Naturwiss., 17, 182, (1929).
30. *A. Eucken, K. Hiller*: Zts. f. phys. Chem. (B), 4, 142, (1929).
31. *N. Calinicenco*: Revista șt. V. Adamachi, XXI, 25, (1935).
32. *E. Darmois*: L'hydrogene est un melange, Herman et Co., Paris, (1931).

I.P.I. — c. 6315

43 459

Lei 3

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL V

3

MARTIE 1968

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR 23. RAION 16 FEBRUARIE BUCUREȘTI 45. TELEFON 16.42.86

SUMAR

Seria A nr. 3/1968

O. C. Gheorghiu

Surse de sgomot cu plasmă 121

C. Herling

Asupra unor analogii electrotermice 128

M. Văgăonescu

Monografia sultonelor 134

P. Sima

Asupra unor probleme de mecanică cuantică matricială 139

C. Greff

Analiza elementară calitativă 148

Probleme de seminar 155

M. Mironescu

Noutăți din cercetarea științifică și tehnică 158

COMITETUL DE REDACȚIE

Ion Agîrbiceanu, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Teodor Bohățiel,** asist. univ. — redactor; **Simion Bulgarea,** prof.; **Maria Codreanu,** prof.; **Nicolae Martalogu,** conf. univ.; **Eleonora Mihul,** cercetător; **Ion C. Moisil,** conf. univ.; **Alice Negoescu,** prof.; **Ion C. Petrea,** conf. univ.; **Victor Sahini,** prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România). Redactor responsabil: **Constantin D. Albu,** lector univ.

BIBLIOTECA ASTRA
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A

Volumul V, nr. 3 martie 1968

SURSE DE ZGOMOT CU PLASMĂ

OCTAV C. GHEORGHIU

1. — Introducere

Punerea în evidenţă şi măsurarea semnalelor de înaltă frecvenţă slabe este o problemă care îl interesează în egală măsură pe fizician, radioastronom cît şi pe inginerul de telecomunicaţii.

În studiile de spectroscopie hertziană semnalul cu care se lucrează este în general mic, fie prin natura lui [1] fie deoarece folosirea puterilor mari poate modifica sau chiar masca complet fenomenul studiat [2].

Sursele de radiounde extraterestre, deşi intense, sînt situate la mari depărtări de Pămînt şi astfel energia de radiounde care trebuie pusă în evidenţă în radioastronomie este foarte mică [3].

La frecvenţe foarte mari, nivelul de zgomot datorită surselor industriale şi extraterestre este mic, lucru ce permite ca în radiorelee să se lucreze cu nivele mici la recepţie. Reducerea sgomotului propriu al amplificatorilor este cerută şi de evitarea diafoniei în transmisiile simultane.

După cum este cunoscut, ca urmare a zgomotului dat de rezistenţe şi tuburi electronice sau tranzistori, există o limită teoretică a amplificării maxime realizabile cu un anumit montaj [1]. Limitată este chiar şi sensibilitatea maserilor sau a amplificatorilor parametrici [4], dar nu în orice aplicaţie se urmăreşte să se obţină sensibilitatea extremă. Practic interesează dacă un anumit amplificator poate fi folosit pentru nivelul de semnal cu care se lucrează. Sensibilitatea se caracterizează prin factorul de zgomot [1], mărime dependentă de zgomotul propriu al amplificatorului. Determinarea experimentală a factorului de zgomot se face în general cu ajutorul *surselor de sgomot* [5] [6].

2. Surse de zgomot

Un corp negru la temperatura T (°K) radiază o putere totală în domeniul de frecvenţă $\Delta\nu$ [Hz]

$$P = k\,T\,\Delta\nu \tag{2.1}$$

după cum rezultă din legea lui Planck pentru frecvenţe radio ($h\,\nu << kT$) [7] [8] [9]

Dacă un generator de zgomot dă o putere maximă de zgomot P_{sg} (în cazul adaptării de impedanţe) egală cu P, prin definiţie, temperatura efectivă de zgomot a sursei este

$$T_{sg} = \frac{P_{sg}}{k\Delta\nu} \tag{2.2}$$

Zgomotul termic se caracterizează uneori drept „zgomot alb", deoarece repartiția spectrală a puterii de zgomot este constantă

$$\frac{P_{sg}}{\Delta\nu} = k\,T_{sg} \tag{2.3}$$

După cum rezultă de mai sus, temperatura de sgomot poate caracteriza bine o sursă de zgomot și se obișnuiește a se exprima puterea de zgomot prin raportarea la puterea ce ar corespunde la o temperatură aleasă convențional $T_0 = 290°K$, deci

$$N = 10 \lg \frac{P_{sg}}{P_{0sg}} = 10 \lg \frac{T_{sg}}{T_0} \tag{2.4}$$

Factorul de zgomot N al sursei se exprimă în dB.

Pentru nivele mici de zgomot (deci amplificatori foarte sensibili) se folosesc terminații rezistive avînd forme variate după domeniul de frecvență de lucru. Sursele cu rezistență caldă (T_{sg} este egală chiar cu temperatura rezistenței) permit cunoașterea cu mare precizie a puterii de zgomot și din acest motiv se folosesc în determinări foarte exacte și formează etaloane de zgomot, [10], [11] , [12].

Pentru puteri mai mari, drept surse de zgomot se folosesc diode cu vid lucrînd în condiții de saturație, adică toți electronii emiși de catodă ajung la anodă [4] [6]. Sursele cu diode prezintă avantajul modificării cu ușurință a puterii de zgomot prin modificarea temperaturii catodului. Dificultățile de adaptare între impedanța diodei și a liniei de ieșire a sursei limitează însă domeniul de folosire a acestor generatori la frecvențe cuprinse între 10 kHz și maximum 3 GHz [4] [13].

La frecvențe mai mari decît 50 MHz se folosesc din ce în ce mai mult sursele de zgomot cu plasmă [14]. Se pare că nu este o limită superioară de frecvență, aceste surse putînd face legătura între undele radio și infraroșu (desigur nu este vorba de radiație monocromatică) [15].

Puterea de zgomot (P_{sg}) disponibilă este mai mare decît la oricare alt tip de generator și provine din radiația de unde radio a coloanei pozitive a descărcărilor electrice în gaze la presiuni reduse.

Din cele de mai sus se vede că la sursele cu terminații rezistive, T_{zg} este chiar temperatura rezistenței.

La sursele cu diode saturate radiația de sgomot nu este de natură termică și astfel T_{zg} are semnificația unei temperaturi echivalente, temperatură la care un corp negru ar radia aceiași putere de sgomot.

În sursele de sgomot cu plasmă, drumul liber mediu al electronilor este mult mai mare decît al ionilor sau a moleculelor neutre iar pierderile de energie în ciocnirile elastice sînt neglijabile datorită influenței mari dintre masa electronilor și cea a moleculelor. Se poate spune că temperatura medie a electronilor este mult mai mare decît a gazului și din acest motiv, sgomotul se datorește practic numai electronilor liberi.

Sursele de zgomot cu plasmă, pe lîngă importanța lor practică, sînt interesante și pentru studiul plasmei, însăși. Din acest motiv mecanismul funcționării acestor generatori de zgomot va fi expus mai pe larg în cele ce urmează.

3. — Tuburile de descărcare ca surse de sgomot

Mumford este primul care propune folosirea coloanei pozitive a unei descărcări în curent continuu drept sursă de zgomot pentru microunde [14]. Tot el este de părere că temperatura de zgomot T_{sg} este egală cu temperatura electronilor T_e definită pe baza energiei cinetice medii [16]

$$1/2\ m\ \overline{V}^2 = 3/2\ k\ T \qquad (3.1)$$

Puterea utilă de zgomot depinde de numeroşi factori: 1 — curentul de descărcare; 2 — natura gazului; 3 — presiune; 4 — modul de producere al descărcării; 5 — funcţia de repartiţie a vitezelor; 6 — geometria descărcării; 7 — modul de cuplaj al tubului de descărcare cu circuitul de utilizare, etc.

Cele arătate justifică de ce rezultatele obţinute de diferiţi cercetători nu sînt totdeauna concordante [17]. Kojima şi Takayama ajung chiar la concluzia că este posibil ca în anumite condiţii $T_{sg} = 4\ Te$ [18].

Mai mult, se poate considera că în descărcare există trei surse de zgomot independente:

1 — zgomotul termic care corespuude la Te, 2 — zgomotul de alice şi 3 — un zgomot de joasă frecvenţă care modulează zgomotul util şi care se datoreşte apariţiei unor oscilaţii de relaxare [19].

Oscilaţiile de relaxare se pot elimina dacă curentul de descărcare depăşeşte o anumită valoare I_{min} [20]. Curentul critic depide de presiunea şi natura gazului, raza tubului, etc. În figura 1 se arată dependenţa curentului critic I_{min} de presiune pentru Neon, Argon şi Xenon [20].

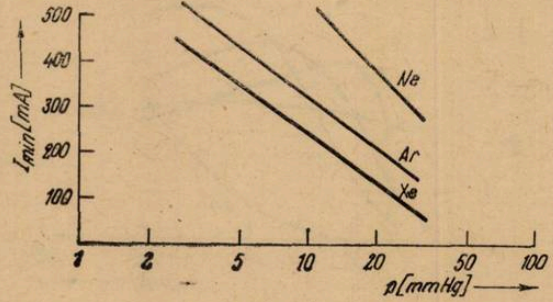


Fig. 1

Pentru reducerea zgomotului de alice este interesantă relaţia [21]:

$$T_{sg} = Te + \frac{J E_0 \tau_0}{k\, n_e} \cdot \Phi \cdot \cos^2 \alpha \qquad (3.2)$$

în care J este densitatea de curent, E_0 cîmpul electric continuu, n_e densitatea de electroni, τ_0 numărul mediu de ciocniri a electronilor cu particulele neutre, k constanta Boltzman. Dacă produsul dintre plusaţia frecvenţei de lucru şi τ_0 este mult mai mare ca unitatea ($\omega\tau_0 > 1$) funcţia $\Phi \simeq 1$. Mai interesant este unghiul α dintre E_0 şi cîmpul de radiofrecvenţă E_{RF}. Alegerea convenabilă a lui α poate reduce la o valoare neglijabilă zgomotul de alice.

În realizarea surselor de zgomot cu plasmă se caută a se lucra în condiţiile care asigură egalitatea temperaturii de zgomot cu temperatura electronilor ($T_{sg} = T_e$). Din acest motiv studiile efectuate asupra dependenţei temperaturii electronilor de diferiţii parametri ai descărcării pre-

zintă interes şi pentru generatorii de zgomot [22]. Măsurarea puterii de zgomot este la rîndul ei utilă pentru studiul plasmei însăşi.

În primul rînd este interesantă dependenţa T_e de raza tubului. Dimensiunile circuitului sînt condiţionate de frecvenţa de lucru şi astfel diametrul tubului de descărcare trebuie să fie uneori foarte mic. De pildă,

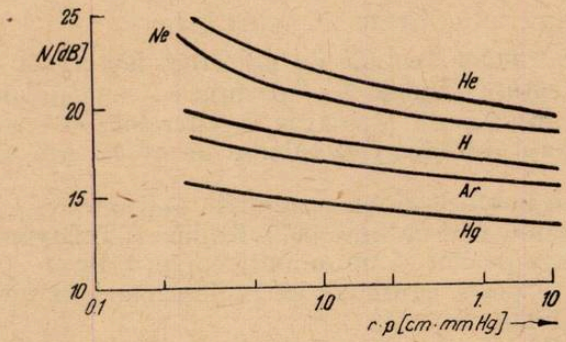


Fig. 2

tubul de sgomot cu plasmă K50 A are în porţiunea de cuplaj un diametru de numai 7 mm [13]. În figura 2 se arată cum depinde factorul de zgomot definit prin relaţia (2.4) de produsul dintre raza tubului şi presiune (A.v. Engel, M. Steenbeck) [13]

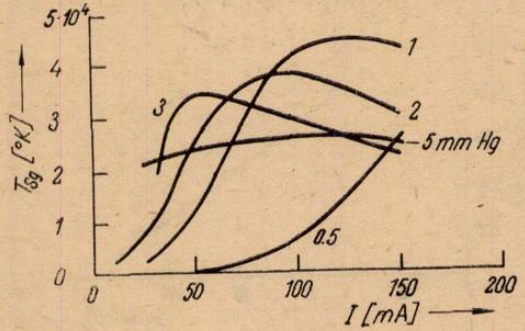


Fig. 3

Curentul de descărcare poate fi făcut să nu influenţeze sensibil T_{zg}, dacă se alege în mod convenabil presiunea gazului. Acest lucru rezultă din figura 3 (K. S. Knol) [23].

Temperaturile de zgomot obţinute prin descărcări în gaze sînt în general mari, cum rezultă şi din tabelul de mai jos [7], [13].

Gazul	T_e [°K]	T_e/T_0 ($T_0 = 290_0 K$)	$N = 10 \lg T_e/T_0$ [dB]
Hg	10.200—10.800	35—37	15,4—15,7
Ar	12.600—13.000	43—45	16,3—16,5
He	10.000—30.000	34—103	15,3—20,1
Xe	10.000	34	15,3
Ne	23.000	80	19,0
H	32.000	1010	20,4

În general puterea de zgomot necesară în măsurătorile de sensibilitate este mai mică decît puterea dată de descărcare. Din acest motiv între sursa de zgomot și instalația de măsură se introduce un atenuator variabil calibrat.

4. — Surse de sgomot cu plasmă

O problemă importantă în realizarea surselor de zgomot cu plasmă o reprezintă modul de cuplaj a tubului de descărcare cu linia de transmisie prin care se preia puterea de zgomot. Tubul de descărcare trebuie să producă o amortizare puternică a liniei sau circuitului cu care se cuplează. Numai în acest caz temperatura efectivă de zgomot a sursei este egală cu temperatura de zgomot a descărcării [24] [25].

Cînd sursa de zgomot poate fi măsurată ca un cuadripol, se consideră că temperatura de zgomot efectivă este egală cu temperatura de sgomot a plasmei dacă raportul între pierderile de inserție cu și fără descărcare depășește 15 dB [24].

Sursa de zgomot trebuie să prezinte o impedanță cît mai constantă în domeniul de frecvență de lucru. Condiții de adaptare se constată experimental, măsurînd impedanța internă a sursei (evident cu descărcarea aprinsă) ca și în cazul unui dipol pasiv.

4.1. La frecvențe cuprinse între 1 și 30 GHz se folosesc în general ghiduri de unde dreptunghiulare și sursele de zgomot cu plasmă se realizează după sistemul propus de Mumford [14]. Tubul de descărcare străbate pereții mai mari (b) ai unui ghid dreptunghiular care este terminat la unul din capete printr-o sarcină rezistivă adaptată (figura 4).

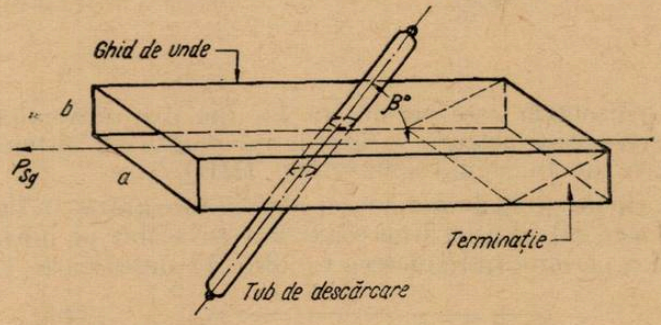


Fig. 4

Înclinația tubului de descărcare față de axa ghidului (β) este mai mică decît 10° și astfel se realizează o bună adaptare de impedanță și un cuplaj suficient. Ghidul de unde este folosit în domeniul de frecvență în care este posibilă propagarea numai a modului dominant (TE_{10}) al cărui cîmp E_{RF} este normal de pereții b. Cîmpul E_0 este paralel cu axa tubului de descărcare și astfel unghiul $\alpha° = 90° - \beta°$. Micșorarea unghiului $\beta°$ este interesantă deci și pentru realizarea egalității $T_{sg} = Te$ cum rezultă din relația (3.2). Acest model de sursă de zgomot a stat la baza primelor studii teoretice [26] [27] care au condus la relația (3.2).

4.2. Pentru cele mai mari frecvențe radio (undele milimetrice și submilimetrice) P.A.H. Hart [15] studiază sursa arătată schematic în figura 5.

Cea mai mare parte a descărcării se găsește în interiorul unui ghid de unde circular care formează și anoda (a) descărcării. Pentru ca coloana pozitivă să fie cuprinsă în interiorul ghidului, peretele interior este acoperit pe o anumită porțiune cu un strat subțire de cuarț (q).

Etanșarea sistemului este realizată printr-un perete (m) de mică sau cuarț prin care trece radiația emisă (P_{sg}).

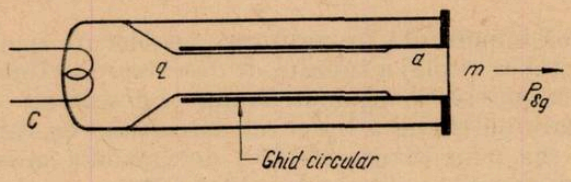


Fig. 5

4.3. La frecvențe mai mici decît cca 1 GHz ($\lambda > 10$ cm) se folosesc în general linii coaxiale. Cuplarea tubului de descărcare cu linia coaxială o realizează K. W. Steward [24] prin intermediul unei linii helicoidale (figura 6).

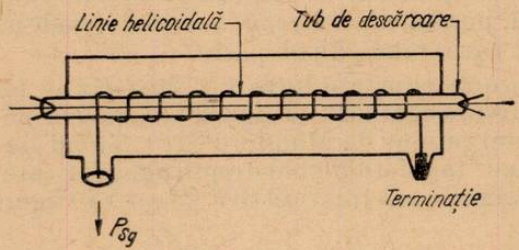



Fig. 6

Linia helicoidală este terminată la una din extremități printr-o sarcină rezistivă care asigură o impedanță constantă sistemului pe un domeniu mare de frecvență (300—1300 MHz).

Un alt tip de sursă de zgomot cu plasmă este arătat în figura 7 [28]. Conductorul central al unei linii coaxiale este scobit pe o anumită porțiune pentru a permite introducerea tubului de descărcare. Conductorul

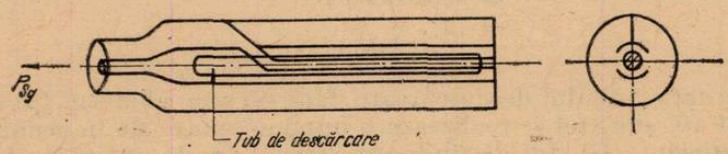


Fig. 7

exterior are o aripă în regiunea descărcării și astfel se realizează o linie de transmisie simetrică care înconjoară tubul. Cu un tub cu neon de diametru de 12 mm, lucrînd la o presiune de 12 mmHg și un curent de 30 mA, s-a obținut o putere de zgomot de 17 dB. De remarcat că impedanța sistemului este foarte constantă (raport de unde staționare maxim 1.15) pe un domeniu mare de frecvență ($\lambda = 9—37$ cm). Ca urmare puterea de zgomot nu depinde de frecvența de lucru.

5. Concluzii

Zgomotul termic, zgomotul tuburilor electronice și al tranzistorilor limitează posibilitățile de amplificare a semnalelor mici. Măsurarea sensibilității amplificatorilor se face cu ajutorul surselor de sgomot care folosesc chiar zgomotul termic sau de alice.

Sursele de zgomot cu plasmă se bazează pe emisie de radiounde a coloanei pozitive a unei descărcări în curent continuu. Puterea efectivă de sgomot (P_{sg}) este constantă în timp și reproductibilă, putînd corespunde la o temperatură de zgomot (T_{sg}) diferită de temperatura electronilor (Te). Realizarea egalității dintre cele două temperaturi este însă interesantă din două puncte de vedere: 1. cunoscînd temperatura electronilor (Te) din studii teoretice și experimentale, se poate ști temperatura de zgomot (T_{sg}) a sursei și deci putere de sgomot (P_{sg}); 2. măsurînd puterea de zgomot se poate determina temperatura electronilor.

Sursele de zgomot cu plasmă, pe lîngă larga lor folosire în telecomunicații, oferă și posibilitatea de studiu a plasmei însăși.

BIBLIOGRAFIE

[1] *D. Gheorghiu*: St. Cerc. fiz. *13*, 1, 175—197 (1962).
[2] *I. Ursu*: Rezonanța electronică de Spin pg. 137—138 Editura Academiei R.S.R.(1965) București.
[3] . *P. Wild*: Observational Radio. Astronomy. Advances in Electronics and Electron Physics, vol. 7, pag. 299—362, Academic Press (1955) New-York.
[4] *M. Uenohara*: Low Noise Amplification
[5] Handbuch der Phisik, vol. 23, pag. 1—83 Springer (1967), Berlin I R E Standards on Methods of Measuring Noise in Linear Two ports, 1959, — PIRE *48*, 1,60——68 (1960).
[6] *M. Sucher J. Fox*: Microwave Measurements vol. III, p. 874—886. Polytechnic Press of the Polytechnic Institute of Brooklyn (1963) New York.
[7] *H. Meinke F. W. Gundlach*: Taschenbuch der Hochfrequenztechnik p. 1232. Springer (1962) Berlin.
[8] *L. Mollwo*: Ann. Physik. 7 F, *2*, 3/4, 97—129 (1958).
[9] *A. F. Harvey*: Microwave Engineering p. 773—777 Academic Press (1963) London-New-York.
[10] *K. S. Knol*: Philip Res. Repts. *12*, 2. 123—126. (1957).
[11] *W. Jasinski*; *G. Hiller. Pire*: *49*, 4. 807—808 (1961).
[12] *H. Kirstetter*: Z. angew., Phys. *22*, 2, 127—133 (1967).
[13] *E. Suchel*: Elektronische Rundchau *10*, 9, 242—246 (1956).
[14] *W. W. Mumford*: Bell System Techn J. *28*, 608—618 (1949).
[15] *P. A. H. Hart*: Philips Res. Repts. *22*, 2, 77—108 (1967).
[16] *G. H. Plantiga*: Philips Res. Repts. *16*, 5, 462—468 (1961).
[17] *M. A. Easley*; *W. W. Mumford*: J. Appl. Phys. *22*, 6, 846—847 (1951).
[18] *S. Kojima*; *K. Takayama*: Phys. Rev. *80*, 5, 907 (1950).
[19] *M. L. Skolnik*; *H. R. Puckett*: J. Appl. Phys. *26*, 1, 74—79 (1955).
[20] *H. Johnson*; *K. R. De Remer Pire*: *39*, 8, 908—914 (1951).
[21] *H. St. Michel*; *H. Prinzler*: Nachrichtentechnik *15*, 1, 33—37, 2, 65—67 (1965).
[22] *Th. V. Ionescu*: Electricitatea pg. 567—571 Editura Didactică și Pedagogică (1961) București.
[23] *K. S. Knol*: Philips. Res. Repts. *6*, 288—302 (1951).
[24] *K. W. Steward*: Marconi Review *21*, 129, 43—55 (1958).
[25] *W. D. White*; *J. G. Greene Pire*: *44*, 7, 939 (1956).
[26] *P. Parzen*; *L. Goldstein*,: Phys. Rev. *79*, 1, 190—191 (1950).
[27] *P. Parzen*; *L. Goldstein*: Phys. Rev. *82*, 5, 724—726 (1951).
[28] *R. I. Skineer*: PIEE *103 B*, 10, 491—496 (1956).

ASUPRA UNOR ANALOGII ELECTROTERMICE

C. HERLING

1. Este cunoscută utilitatea și importanța analogiilor în cercetarea științifică, întrucît unele noțiuni dobîndite într-un demeniu pot fi folosite în cadrul altuia, prin aceasta putîndu-se extinde cunoștințele de la un domeniu la altul, însușirea lor fiind mai unitară.

În cele ce urmează se vor prezenta unele analogii dintre fenomene și mărimi electrice cu cele termice.

2. Se consideră un condensator plan de arie S între armăturile căruia se găsesc două straturi dielectrice paralele cu constantele dielectrice ε_1 și ε_2; fie grosimile straturilor d_1 și d_2 (fig. 1), iar V_1 și V_2 ($V_1 > V_2$) potențialele celor două armături.

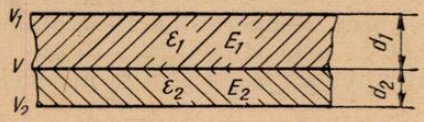


Fig. 1

Se notează cu E_0 intensitatea cîmpului electric care s-ar crea între armăturile condensatorului încărcat, în vid. Atunci

$$E_0 = 4\pi\sigma \tag{1}$$

Unde σ este densitatea superficială de sarcină.

Datorită existenței suprafeței de separare dintre cei doi dielectrici, intensitatea cîmpului variază la trecerea de la un dielectric la celălalt.

În dielectrici, intensitățile cîmpului E_1 și E_2 sînt respectiv :

$$E_1 = \frac{4\pi\sigma}{\varepsilon_1} = \frac{E_0}{\varepsilon_1}\ ;\ E_2 = \frac{4\pi\sigma}{\varepsilon_2} = \frac{E_0}{\varepsilon_2} \tag{2}$$

Sarcina pe armături este :

$$Q_p = \sigma S = \frac{E_0}{4\pi} S \tag{3}$$

Diferența de potențial între armături poate fi calculată cu ajutorul intensității cîmpului. Se notează cu V potențialul suprafeței de separare dintre cei doi dielectrici. Există relațiile

$$\frac{V_1 - V}{d_1} = E_1\ ;\ \frac{V - V_2}{d_2} = E_2 \tag{4}$$

Din relațiile (4) se obține :

$$V_1 - V_2 = E_1 d_1 + E_2 d_2 = E_0 \left(\frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{d_2}{\varepsilon_2} \right) \tag{5}$$

iar din relațiile (3) și (5)

$$Q_p = \frac{S}{4\pi \left(\frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{d_2}{\varepsilon_2} \right)} (V_1 - V_2) \tag{6}$$

Generalizînd pentru n straturi dielectrice paralele de grosimi d_i și constante dielectrice ε_i, se obține:

$$Q_p = \frac{S}{4\pi \sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{\varepsilon_i}} (V_1 - V_2) = c_p S (V_1 - V_2) \tag{7}$$

unde:

$$c_p = \frac{1}{4\pi \sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{\varepsilon_i}}, \tag{8}$$

este capacitatea unui condensator plan de unitate de arie (expresie generalizată).

3. Se consideră acum un condensator cilindric format din doi conductori cilindrici drepți coaxiali (armături) de raze R_1 și R_2 ($R_1 < R_2$) și de lungime 1 (fig. 2). Spațiul dintre cilindri este umplut cu un mediu dielectric avînd constanta dielectrică ε.

Sarcinile pe armături sînt $+Q_c$ și $-Q_c$, iar potențialele respective V_1 și V_2 ($V_1 > V_2$)

Într-un punct aflat la distanța R de axa cilindrului, intensitatea cîmpului este

$$E = \frac{2\eta}{\varepsilon R} \tag{9}$$

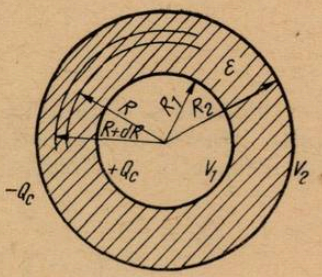


Fig. 2)

unde η reprezintă sarcina care revine unei unități de lungime a cilindrului. Variația potențialului pe lungimea dR (fig. 2) este legată de intensitatea cîmpului prin relația

$$-\frac{dV}{dR} = E \tag{10}$$

sau

$$dV = -E\,dR = -\frac{2\eta}{\varepsilon}\frac{dR}{R} \tag{11}$$

Diferența de potențial $(V_2 - V_1)$ dintre armături, se obține integrînd această expresie între limitele R_1 și R_2, adică:

$$V_2 - V_1 = -\int_{R_1}^{R_2} \frac{2\eta}{\varepsilon}\frac{dR}{R} = -\frac{2\eta}{\varepsilon} \ln \frac{R_2}{R_1} \tag{12}$$

însă

$$\eta = \frac{Q_c}{l} \tag{13}$$

Din relațiile (12) și (13) se obține:

$$Q_c = \frac{\varepsilon l}{2 \ln \frac{R_2}{R_1}} (V_1 - V_2). \tag{14}$$

Relația (14) se mai scrie și astfel:

$$Q_c = \frac{\varepsilon}{2\pi (R_2 - R_1)} \pi l \frac{R_2 - R_1}{\ln \frac{R_2}{R_1}} (V_1 - V_2) \tag{15}$$

Se notează:

$$R_m = \frac{R_2 - R_1}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \text{ raza medie logaritmică}$$

$$d = R_2 - R_1 \text{ grosimea dielectricului}$$

$$S_m = 2\pi R_m l \text{ arie medie}$$

Cu notațiile de mai sus, relația (15) devine:

$$Q_c = \frac{\varepsilon S_m}{4\pi d} (V_1 - V_2). \tag{16}$$

Pentru a generaliza problema la un condensator cilindric cu mai multe straturi dielectrice coaxiale de grosimi d_i și cu constantele dielectrice respectiv ε_i, relația (15) se va scrie astfel:

$$Q_c = \frac{\varepsilon l}{\frac{2(R_2 - R_1) \ln \frac{R_2}{R_1}}{R_2 - R_1}} (V_1 - V_2) = \frac{l}{2 \frac{d}{\varepsilon R_m}} (V_1 - V_2) \tag{17}$$

Generalizînd se obține:

$$Q_c = \frac{l}{2 \left(\frac{d_1}{\varepsilon_1 R_{m,1}} + \frac{d_2}{\varepsilon_2 R_{m,2}} + \dots \right)} (V_1 - V_2) =$$

$$= \frac{l}{2 \sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{\varepsilon_i R_{m,i}}} (V_1 - V_2) = c_c l (V_1 - V_2) \tag{18}$$

d_i și $R_{m,i}$ fiind respectiv grosimile straturilor dielectrice și razele medii logaritmice ale acestora, iar

$$c_c = \frac{1}{2 \sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{\varepsilon_i R_{m,i}}}, \tag{19}$$

capacitatea unui condensator cilindric cu lungimea egală cu unitatea (expresie generalizată).

4. Revenind la fenomenele termice se va studia transmisia căldurii prin conducție de la temperatura t_i la t_e $(t_i > t_e)$ printr-un perete plan de suprafață A format din mai multe straturi paralele de grosimi δ_i și conductivității termice respectiv λ_i (fig. 3).

Se consideră căderile de temperatură pentru fiecare perete Δt_1; Δt_2; Δt_3 etc., astfel că

$$\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 = \ldots = t_i - t_e = \Delta t.$$

unde t_i și t_e sînt temperaturile pe fețele peretelui.

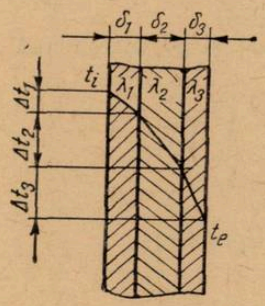


Fig. 3

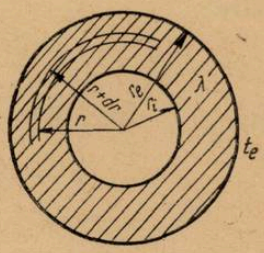


Fig. 4

Cantitatea (fluxul) de căldură transmisă prin fiecare strat (perete) în regim staționar este aceeași (Q_p):

$$Q_p = \frac{\lambda_1}{\delta_1} A \Delta t_1; \quad Q_p = \frac{\lambda_2}{\delta_2} A \Delta t_2; \quad Q_p = \frac{\lambda_3}{\delta_3} A \Delta t_3 \text{ etc.} \tag{20}$$

Scriind ecuațiile (20) sub forma:

$$\Delta t_1 = \frac{Q_p}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} A}; \quad \Delta t_2 = \frac{Q_p}{\frac{\delta_2}{\lambda_2} A}; \quad \Delta t_3 = \frac{Q_p}{\frac{\delta_3}{\lambda_3} A} \text{ etc.} \tag{21}$$

și adunîndu-le, se obține:

$$\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \ldots + \Delta t = \frac{Q_p}{A}\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \ldots\right) \tag{22}$$

Din relația (22) se deduce cantitatea de căldură transmisă prin conducție:

$$Q_p = \frac{1}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \ldots} A \Delta t = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}} A \Delta t = k_p A \Delta t \tag{23}$$

unde

$$k_p = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \tag{24}$$

este coeficientul de transfer termic prin conducție printr-un perete plan de unitate de arie (expresie generalizată).

5. Transmiterea căldurii dintr-un perete cilindric de conductivitate termică λ (fig. 4) se face radial, fluxul de căldură transmițîndu-se printr-o suprafață care nu mai este constantă în toată grosimea peretelui (ca în cazul peretelui plan); temperaturile pe fețele pereților sînt t_i și t_e ($t_i > t_e$).

Dacă în peretele cilindric (fig. 4) se consideră un strat infinitesimal (dr) coaxial, fluxul de căldură ce trece prin acest strat, este :

$$Q_c = \frac{\lambda}{dr} A \, dt \tag{25}$$

unde $A = 2\pi r l$ (l = lungimea cilindrului)

În relația (25) se separă variabilele și se integrează între limitele corespunzătoare :

$$\int_{r_e}^{r_i} \frac{dr}{r} = \lambda \frac{2\pi l}{Q_c} \int_{t_e}^{t_i} dt$$

Se obține :

$$\ln \frac{r_e}{r_i} = \lambda \frac{2\pi l}{Q_c} (t_i - t_e)$$

sau

$$Q_c = \lambda 2\pi l \frac{t_i - t_e}{\ln \frac{r_e}{r_i}} = \frac{\lambda}{r_e - r_i} 2\pi l \frac{r_e - r_i}{\ln \frac{r_e}{r_i}} \Delta t \tag{26}$$

Înlocuind :

$\delta = r_e - r_i$ grosimea peretelui

$r_m = \dfrac{r_e - r_i}{\ln \dfrac{r_e}{r_i}}$ rază medie logaritmică

$A_m = 2\pi r_m l$ arie medie

în relația (26) se obține :

$$Q_c = \frac{\lambda}{\delta} A_m \Delta t$$

Pentru a determina fluxul de căldură printr-un cilindru cu mai multe straturi de grosimi δ_i și conductivității termice λ_i, ecuația (26) se scrie astfel :

$$Q_c = \frac{2\pi l}{\dfrac{\delta}{\lambda r_m}} \Delta t \tag{27}$$

Generalizînd se obține :

$$Q_c = \frac{2\pi l}{\dfrac{\delta_1}{\lambda_1 r_{m,1}} + \dfrac{\delta_2}{\lambda_2 r_{m,2}} + \cdots} (t_i - t_e) = \frac{2\pi l}{\sum_{i=1}^{n} \dfrac{\delta_i}{\lambda_i r_{m,i}}} \Delta t = 2\pi l \, k_c \Delta t \tag{28}$$

unde $r_{m,i}$ sînt razele medii logaritmice ale straturilor, iar

$$k_c = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \dfrac{\delta_i}{\lambda_i r_{m,i}}}, \tag{29}$$

este coeficientul de transfer termic prin conducție printr-un perete cilindric cu lungimea egală cu unitatea (expresie generalizată).

Obs. : ca și în cazul pereților plani paraleli, fluxul de căldură transmis prin fiecare perete este același, adică :

$$Q_c = \frac{2\pi l\ \Delta t_1}{\frac{\delta_1}{\lambda_1 r_{m,1}}} = \frac{2\pi l\ \Delta t_2}{\frac{\delta_2}{\lambda_2 r_{m,2}}} = \ldots = \frac{2\pi l\ \Delta t}{\sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i r_{m,i}}}$$

în care :

$$\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \ldots = t_i - t_e$$

Comparînd expresia sarcinii electrice pe armăturile condensatorului plan (Q_p) sau cilindric (Q_c).

$$Q_p = c_p S (V_1 - V_2) \quad (7) \qquad Q_c = c_c l (V_1 - V_2) \quad (18)$$

cu cea a cantității de căldură transmisă prin conducție în cazul unui perete plan (Q_p) sau cilindric (Q_c)

$$Q_p = k_p A \Delta t \quad (23) \qquad Q_c = 2\pi l k_c \Delta t \quad (25)$$

decurge analogia dintre următoarele mărimi electrice și termice :

Mărimi electrice	*Mărimi termice*
Sarcina electrică pe armăturile condensatorului plan (Q_p) sau cilindric (Q_c)	Cantitatea de căldură transmisă printr-un perete plan (Q_p) sau cilindric, (Q_c), prin conducție
Diferența de potențial pe armăturile condensatorului plan sau cilindri c ($V_1 - V_2$)	Diferența de temperatură pe fețele pereților ($\Delta t = t_i - t_e$)
Capacitatea unui condensator plan de unitatea de arie (c_p)	Coeficientul de transfer termic prin conducție, printr-un perete plan de unitate de arie (k)
Capacitatea unui condensator cilindric cu lungimea egală cu unitatea (c_c)	Coeficientul de transfer termic prin conducție printr-un perete cilindric cu lungimea egală cu unitatea (k_c)
Constantele dielectrice (ε_i)	Conductivitățile termice (λ_i)

Tot din relațiile (7), (18), (23) și (28) se observă o analogie perfectă și între elementele geometrice.

6. În acest articol s-a căutat să se scoată în evidență numai unele analogii electrotermice, insistîndu-se în special asupra unor fenomene și ecuații mai cunoscute.

BIBLIOGRAFIE

[1] *S. E. Friș, A. V. Timoreva* : Curs de fizică generală, vol. II (1964).
[2] *Emil A. Bratu* : Operații și utilaje în industria chimică, vol. II (1961).
[3] *O. Floarea, O. Smigelschi* : Calcule de operații și utilaje din industria chimică (1966).
[4] *A. G. Kasatkin* : Procese și aparate principale în tehnologia chimică (1963).
[5] *Th. V. Ionescu* : Electricitatea (1962).
[6] *A. Stan* : Unele probleme referitoare la metoda analogiilor electromecano-acustice (Gazeta matematică și fizică seria A, Nr. 3, 1963).
[7] *O. Aczel* : Analogii electromecanice (Revista de fizică și chimie seria A, Nr. 9, 1966).
[8] Manualul inginerului volmului I, partea a II-a (FIZICA, CAP. IV, VII) Ed. 1965.

MONOGRAFIA SULTONELOR

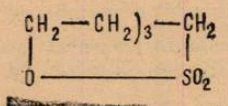
Dr. *MARIA VĂGĂONESCU*, Facultatea de Chimie Cluj.

O clasă importantă de substanţe cu mare aplicabilitate practică o constituie sultonele. Acestea sînt combinaţii organice care conţin în molecula lor un atom de sulf. Din punct de vedere funcţional sultonele sînt esteri intramoleculari ciclici ai acizilor hidroxi-sulfonici. Denumirea de sultone a fost dată acestei clase de substanţe de H. Erdmann (1) la sfîrşitul secolului trecut, prin analogie cu lactonele.

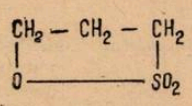
Sultonele pot fi alifatice sau aromatice, după natura radicalului organic, care conţine gruparea esterică -O-SO_2-. După poziţia grupării -OH faţă de gruparea -SO_3H, sultonele pot fi β, γ, δ etc. Cele mai stabile sultone sînt cele cu 5 şi 6 atomi (γ şi δ sultone), β sultonele avînd tensiune în ciclu sînt mai puţin stabile, iar α sultone nu se cunosc.

Sultonele pot fi primare, secundare sau terţiare, după natura atomului de carbon de care se grefează gruparea -O-SO_2-.

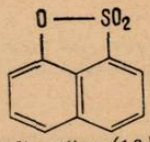
Nomenclatura sultonelor se formează din radicalul organic pe care este grefată gruparea esterică -O-SO_2-, la care se adaugă cuvîntul sultonă, specificîndu-se totodată şi poziţia acestei grupe.



Pentan-sultona (1,5)



Propan-sultona (1,3)

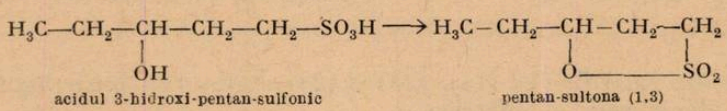


Nafto-sultona (1,8)

Metode de preparare

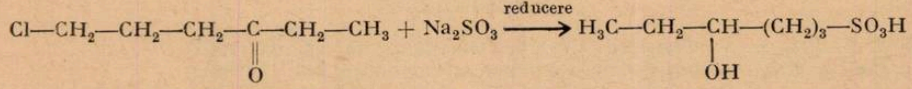
1) Prin deshidratarea acizilor hidroxi-sulfonici alchilici

a) în mediu de alcool etilic — xilen (2) se obţin sultone primare şi secundare cu 5 şi 6 atomi în ciclu. Astfel se pot deshidrata acizii 3-hidroxi--1-pentan- şi 3-hidroxi-1-hexan-sulfonici, formînd sultonele respective.

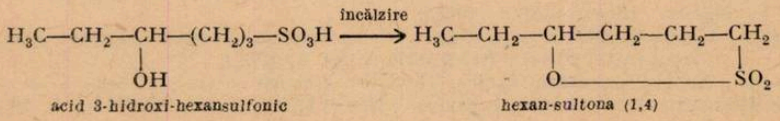


acidul 3-hidroxi-pentan-sulfonic — pentan-sultona (1,3)

Acidul 3-hidroxi-hexan-sulfonic se obţine din clorhexanonă (3) încălzită cu Na_2SO_3 şi apoi prin reducerea produsului obţinut cu Ni-Raney (3).

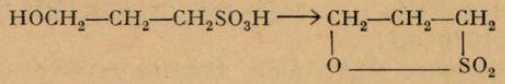


clor-hexanonă (3)

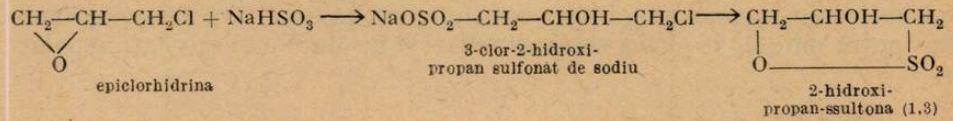


acid 3-hidroxi-hexansulfonic — hexan-sultona (1,4)

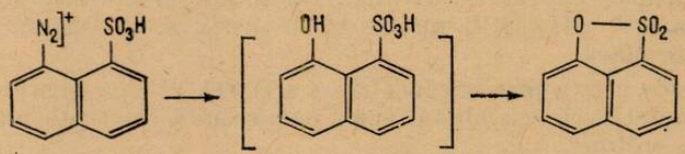
b) prin trecerea acizilor alchil-sulfonici peste un gaz inert (CO_2, He) la presiune atmosferică și temperatură înaltă (4). Astfel acidul hidroxi-propan-sulfonic (1,3) prin încălzire la 188—190° și trecere peste un gaz inert, dă propan-sultona (1,3)



2) Epichlorhidrina tratată cu bisulfit de sodiu și fierbere în soluție apoasă, trece în sultonă (5) :

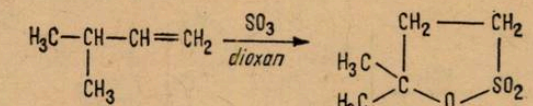


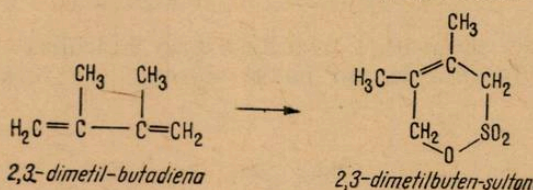
3) Prin descompunerea acidului diazonaftalinsulfonic (1,8) prin fierbere cu apă se obține naftosultonă, care este lactona acidului hidroxi-nafto-sulfonic :



4) Cea mai generală metodă pentru obținerea sultonelor constă în sulfonarea alchenelor, care în funcție de condițiile de lucru poate avea diferite variante ca :

a) sulfonarea cu SO_3 în amestec cu aerul (6); astfel s-au obținut sultone cu randamente bune pornind de la buten, hexen, tetradecen, hexadecen și octadecen.





b) sulfonarea cicloalchenelor cu H_2SO_4 oleum duce la formarea sultonelor bi- și triciclice (7).

c) sulfonarea diferitelor alchene cu SO_3 în mediu de dioxan (8, 9). Pot fi sulfonate astfel olefine neramificate, olefine γ ramificate, olefine conjugate, etc....

d) tot ca o metodă de obținere a sultonelor se poate considera și rafinarea distilatelor obținute din petrol, sub acțiunea H_2SO_4. În acest caz sultonele apar ca produse secundare.

Proprietăți fizice

Sultonele inferioare sînt lichide distilabile fără descompunere, uleioase, cu puncte de fierbere nu prea ridicate : propan-sultona p.f. = = 102—103°, butan-sultona p.f. = 83—86°, d = 1,4499 ; hexan-sultona p.f. = 79—84°, d = 1,4620 etc....

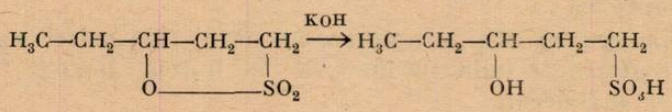
Sultonele superioare sînt solide, frumos cristalizate, cu puncte de topire bine definite, nu prea ridicate : tetrametil-butan-sultona p.t. = = 99—100°, octen-sultona p.t. = 92° ; nafto-sultona p.t. = 154° etc. Unele sultone superioare au un miros plăcut, asemănător camforului. Sultonele sînt în general substanțe stabile, sublimează fără descompunere. Sînt puțin solubile în cîțiva solvenți polari și insolubile în solvenți nepolari.

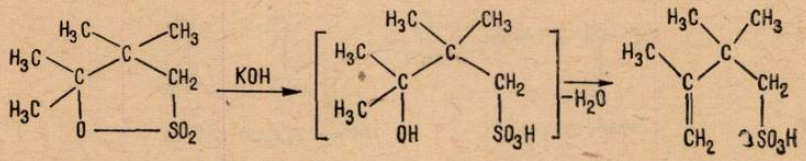
Proprietăți chimice

Sultonele sînt substanțe neutre față de indicatori și nu formează săruri cu alcaliile la rece. Prin fierbere cu apă reacționează acid, punînd în libertate gruparea acidă -SO_3H, angajată în funcția esterică. Sub acțiunea clorurii de acetil, CH_3COCl, nu are loc o acetilare, dovadă că în sultone -OH nu este liber.

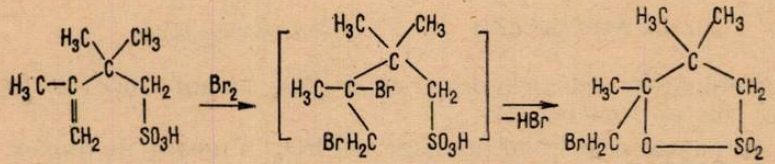
Sultonele prin topire sau încălzire cu H_2SO_4 diluat, degajă SO_2, proprietate caracteristică acizilor sulfonici, deci rezultă existența unei grupări sulfonice în sultone.

Prin hidroliză sultonele primare și secundare dau acizi hidroxisulfonici saturați, în timp ce sultonele terțiare trec în acizi sulfonici nesaturați :





Acizii sulfonici nesaturați, rezultați prin hidroliza sultonelor terțiare, adiționează brom refăcînd ciclul sultonic, cu formare de bromsultone :

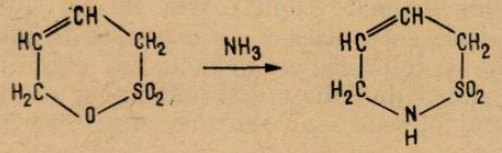


Prin fierberea sultonelor cu $Ba(OH)_2$ se formează săruri de bariu ale acizilor sulfonici, care sub acțiunea H_2SO_4 refac ciclul sultonic. Sărurile de bariu, trec printr-o reacție de dublu schimb cu Ag_2SO_4, în săruri de argint. Sărurile de potasiu se obțin de la sultone prin fierbere cu KOH.

Acestea sub acţiunea halogenilor trec în halo-sultone. De la sultone se pot obţine săruri sulfonice de : Cu, Pb, Ni, Cd, Fe, Sn, Zn, Hg.

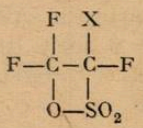
Desfacerea hidrolitică a ciclului sub acţiunea alcaliilor diluate, precum şi refacerea acestora cu acizii, este o proprietate caracteristică lactonelor acizilor carboxilici şi sulfonici.

Sultonele sub acţiunea amoniacului şi a aminelor formează *sultame*, care din punct de vedere funcţional nu sînt altceva decît sulfonamide ciclice.

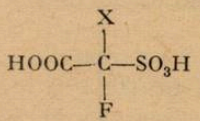


Buten-sultona *Buten(2,3)sultamă(1,4)*

Unele sultone polihalogenate, de tipul



reacţionează cu alcoolii, mercaptanii, amoniacul, hidrazinele, aminele şi hidroxizii metalici dînd derivaţii corespunzători ai acizilor α sulfopolihalo-monocarbonici :



Rezultă din aceste reacţii esteri, tioesteri, săruri de amoniu, amide şi săruri metalice (10).

Importanţă

Sultonele au o importanţă deosebită şi sînt cunoscute mai ales în industria petrolului, unde apar adesea ca produşi secundari. Este cunoscut ca unul din cele mai vechi procedee de rafinare a distilatelor obţinute din petrol, agitarea acestora cu H_2SO_4 concentrat. Acţiunea H_2SO_4 asupra acestor produşi este foarte complexă. Astfel cu alcanii şi naftenele, practic nu reacţionează la temperatură joasă, în schimb la temperatură ridicată H_2SO_4 dehidrogenează hidrocarburile saturate. Cu alchenele formează esteri acizi alchenici, polimerizîndu-le sau condensîndu-le cu hidrocarburile aromatice (la fel ca $AlCl_3$), sau chiar cu alcanii.

Hidrocarburile aromatice sînt sulfonate parţial sau total în funcţie de cantitatea de acid întrebuinţată. Asupra componentelor răşinoase ale petrolului H_2SO_4 are o acţiune sulfonantă, dînd produşi cu o compoziţie încă necunoscută. Prin tratarea diferitelor fracţiuni de petrol cu H_2SO_4 se depun aşa numitele gudroane sau noroiuri acide care sînt amestecuri sau soluţii de H_2SO_4, acizi sulfonici, răşini şi alţi produşi nedefiniţi de con-

densare și polimerizare. Din aceste gudroane acide se pot izola acizii sulfonici prin diluare cu H_2O și îndepărtarea H_2SO_4 diluat. Acești acizi precum și sărurile lor, care se numesc mersolați, au multiple întrebuințări ca: diverse uleiuri de uns, emulgatori, desemulsionanți, agenți producători de spumă pentru stingerea incendiilor, în industria textilă ca detergenți, agenți de udare și înmuiere etc.

Tot din aceste produse petroliere se pot izola și unele sultone, care au de asemenea o largă aplicabilitate practică.

Sultonele polihalogenate fiind foarte active, sînt întrebuințate ca bactericide (10), altele se utilizează ca material de impregnare mai ales pentru lînă, ca produși intermediari în industria colorării fibrelor și țesăturilor, pentru preparare de poliesteri și poliamide, ca alchilanți, ca agenți de conservare în aminoplaste sau soluții, ca și catalizatori de polimerizare (11) etc.

Sultonele își găsesc aplicare practică și în domeniul agriculturii, de ex. aducții dien-sultonelor cu hidrazina se utilizează în combaterea ruginirii cerealelor.

Sultamele, datorită funcțiunii sulfon-amidice, sînt medicamente foarte active. Astfel se cunosc o serie de derivați ai naftosultamei, ca: 4-p-tolil-azo (1,8)-nafto-sultama, 4-(o-carboxifenilazo) (1,8)-nafto-sultama etc. cu activitate antitumorală.

În *concluzie* sultonele reprezintă o clasă de substanțe organice mai puțin studiate, care însă prezintă un deosebit interes teoretic și practic.

BIBLIOGRAFIE

[1] *H. Erdmann*: Ann. Chem. *247*, 334 (1888).
[2] *A. Mustafa*: Chem. Rews. *54*, 195 (1954).
[3] *Buchard Helferich*: Ber. dtsch. Chem. Ges. *94*, 505 (1961).
[4] *C. A.*: 6751 d (1964).
[5] *H. Mannheimer*, C. A. 2770 (1964).
[6] C. A.: 7917 f (1964).
[7] *E. D. Weil*: J. Org. Chem. *29*, (5) 1110—13 (1964).
[8] *C. M. Suter*, J. Am. Soc. *66*, 1105 (1944).
[9] *C. M. Suter*, J. D. Malkemus, J. Am. Soc. *63*, 978 (1941).
[10] *C*, 1793 P. (1962).
[11] *C. A.*: 1351 d, 6657 c, 7818 f (1963).

ASUPRA UNOR PROBLEME DE MECANICĂ CUANTICĂ MATRICIALĂ

Conf. *SIMA D. PETRE* Institutul Politehnic—Braşov.

Considerăm transformarea liniară de dimensiune n :

$$\left.\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1n}x_n &= y_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{2n}x_n &= y_2 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \ldots + a_{nn}x_n &= y_n \end{aligned}\right\}, \tag{1}$$

unde coeficienţii a_i sînt numere reale sau complexe. Mulţimea coeficienţilor celor n necunoscute poate fi scrisă sub forma tabloului :

$$\|a\| = \left\| \begin{matrix} a_{11}\, a_{12}\, a_{13} \ldots a_{1n} \\ a_{21}\, a_{22}\, a_{23} \ldots a_{2n} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_{n1}\, a_{n2}\, a_{n3} \ldots a_{nn} \end{matrix} \right\| \tag{2}$$

care reprezintă o matrice pătratică de ordinul n.

Prin urmare unei transformări liniare (1) îi corespunde o singură matrice $\|a\|$ şi reciproc, matricea $\|a\|$ fiind cunoscută îi corespunde o singură transformare liniară (1). Există deci o corespondenţă biunivocă între transformările liniare asupra a n variabile şi matricile pătrate de ordinul n.

Două matrici sînt egale

$$\left\| \begin{matrix} a_{11}\, a_{12}\, a_{13} \ldots a_{1n} \\ a_{21}\, a_{22}\, a_{23} \ldots a_{2n} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_{n1}\, a_{n2}\, a_{n3} \ldots a_{nn} \end{matrix} \right\| = \left\| \begin{matrix} b_{11}\, b_{12}\, b_{13} \ldots b_{1n} \\ b_{21}\, b_{22}\, b_{23} \ldots b_{2n} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ b_{n1}\, b_{n2}\, b_{n3} \ldots b_{nn} \end{matrix} \right\|, \tag{3}$$

dacă definesc aceeaşi transformare.

Suma a două transformări liniare este tot o transformare liniară care are ca matrice suma matricilor celor două transformări :

$$\left\| \begin{matrix} a_{11}\, a_{12} \ldots a_{1n} \\ a_{21}\, a_{22} \ldots a_{2n} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_{n1}\, a_{n2} \ldots a_{nn} \end{matrix} \right\| + \left\| \begin{matrix} b_{11}\, b_{12} \ldots b_{1n} \\ b_{21}\, b_{22} \ldots b_{2n} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ b_{n1}\, b_{n2} \ldots b_{nn} \end{matrix} \right\| = \left\| \begin{matrix} a_{11}+b_{11}\, a_{12}+b_{12} \ldots a_{1n}+b_{1n} \\ a_{21}+b_{21}\, a_{22}+b_{22} \ldots a_{2n}+b_{2n} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_{n1}+b_{n1}\, a_{n2}+b_{n2} \ldots a_{nn}+b_{nn} \end{matrix} \right\| \tag{4}$$

Deci suma a două matrici de ordinul n este tot o matrice de ordinul n, ale cărei elemente se obţin adunînd elementele corespunzătoare din cele două matrici Adunarea matricilor este comutativă :

$$\|a\| + \|b\| = \|b\| + \|a\|; \tag{5}$$

de asemenea adunarea matricilor este asociativă, adică :

$$\|a+b\| + \|c\| = \|a\| + \|b+c\|. \tag{6}$$

Produsul a două transformări liniare este tot o transformare liniară care are ca matrice produsul matricilor celor două transformări : avem deci :

$$\|a\| \cdot \|b\| = \|c\|, \tag{7}$$

sau scriind dezvoltat :

$$\begin{Vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{Vmatrix} \cdot \begin{Vmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{Vmatrix}. \tag{8}$$

Prin urmare, produsul a două matrici pătrate de ordinul n este tot o matrice pătrată de ordinul n. Elementele c_{ij} din linia i și coloana j a matricii produs se obțin înmulțind elementele din linia i ale primei matrici : $a_{i1}, a_{i2} \dots, a_{in}$ cu elementele corespunzătoare din coloana j ale matricei a doua : $b_{1j}, b_{2j} \dots, b_{nj}$ și făcînd suma produselor astfel obținute : n

$$c_{ij} = a_{i1} b_{1j} + a_{i2} b_{2j} + \dots + a_{in} b_{nj} = \sum_{k=1}^{n} a_{ik} b_{kj}. \tag{9}$$

În general produsul a două matrici nu este comutativ, adică :

$$\|a\| \cdot \|b\| \neq \|b\| \cdot \|a\|; \tag{10}$$

în unele cazuri particulare, avem totuși :

$$\|a\| \cdot \|b\| = \|b\| \cdot \|a\|. \tag{11}$$

În aceste cazuri matricile $\|a\|$ și $\|b\|$ se numesc permutabile sau comutative.

O matrice pătrată de ordinul n se înmulțește printr-un număr k, identificînd numărul k cu o matrice de ordinul n și înmulțind apoi cele două matrice conform regulei de înmulțire a matricilor :

$$k \cdot \|a\| = \begin{Vmatrix} k & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & k & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & k \end{Vmatrix} \cdot \begin{Vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} ka_{11} & ka_{12} & \dots & ka_{1n} \\ ka_{21} & ka_{22} & \dots & ka_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ ka_{n1} & ka_{n2} & \dots & ka_{nn} \end{Vmatrix}. \tag{12}$$

Prin urmare, pentru a înmulții o matrice pătrată la dreapta sau la stînga cu un număr, înmulțim toate elementele matricii cu acel număr.

Dacă într-o matrice elementele simetrice în raport cu diagonala principală sînt cantități complexe conjugate, matricea se numește hermetică :

$$\begin{Vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{12} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{1n} & a_{2n} & a_{3n} & \dots & a_{nn} \end{Vmatrix}. \tag{13}$$

În baza definiției rezultă că elementele diagonalei principale ale unei matrice hermitice sînt reale; o matrice hermitică reală este o matrice simetrică.

Se numește matrice transpusă $\|a'\|$ a matricii $\|a\|$ matricea care se deduce din $\|a\|$ schimbînd liniile în coloana și coloanele în linii. Prin urmare, dacă:

$$\|a\| = \begin{Vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{2n} & \dots & a_{nn} \end{Vmatrix}, \quad \text{rezultă} \quad \|a'\| = \begin{Vmatrix} a_{11} & a_{21} & \dots & a_{n1} \\ a_{12} & a_{22} & \dots & a_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{Vmatrix}. \tag{14}$$

Dacă în matricea transpusă a matricii $\|a\|$ înlocuim fiecare element cu complementul său algebric, se obține o matrice $\|A\|$ care se numește matricea asociată sau reciprocă a matricii $\|a\|$:

$$\|A\| = \begin{Vmatrix} A_{11} & A_{21} & \dots & A_{n1} \\ A_{12} & A_{22} & \dots & A_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{1n} & A_{2n} & \dots & A_{nn} \end{Vmatrix}. \tag{15}$$

Matricea inversă a matricii $\|a\|$ se notează $\|A^{-1}\|$ și se definește prin:

$$\left\|A^{-1}\right\| = \frac{1}{D}\left\|A\right\| = \frac{1}{D}\begin{Vmatrix} A_{11} & A_{21} & \dots & A_{n1} \\ A_{12} & A_{22} & \dots & A_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{1n} & A_{2n} & \dots & A_{nn} \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} \frac{1}{D}A_{11} & \frac{1}{D}A_{21} & \dots & \frac{1}{D}A_{n1} \\ \frac{1}{D}A_{12} & \frac{1}{D}A_{22} & \dots & \frac{1}{D}A_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{D}A_{1n} & \frac{1}{D}A_{2n} & \dots & \frac{1}{D}A_{nn} \end{Vmatrix}. \tag{16}$$

unde D este determinantul matricii $\|a\|$:

$$D = \det. \|a\| = \begin{Vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{Vmatrix} \tag{17}$$

Se numește matrice simetrică, matricea ale cărei elemente simetrice în raport cu diagonala principală sînt egale:

$$a_{ij} = a_{ji}. \tag{18}$$

Cu alte cuvinte, matricea simetrică este egală cu transpusa ei, adică:

$$\|a\| = \|a'\|, \tag{19}$$

sau dezvoltat:

$$\begin{Vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} a_{11} & a_{21} & \dots & a_{n1} \\ a_{12} & a_{22} & \dots & a_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{1n} & a_{2n} & \dots & a_{nn} \end{Vmatrix}. \tag{20}$$

O matrice pătratică este denumită strîmb simtrică (antisimetrică sau pseudosimetrică) dacă este egală și de sens contrar cu transpusa ei, adică :

$$\|a\| = -\|a'\|, \tag{21}$$

sau dezvoltat :

$$\begin{Vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} -a_{11} & -a_{12} & \dots & -a_{1n} \\ -a_{21} & -a_{22} & \dots & -a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -a_{n1} & -a_{n2} & \dots & -a_{nn} \end{Vmatrix}. \tag{22}$$

Elementele corespunzătoare fiind egale, rezultă că :

$$a_{ij} = -a_{ji}, \tag{23}$$

relație ce caracterizează matricile strîmb simetrice. De aici deducem în particular că $a_{ii} = -a_{ii}$, deci $2a_{ii} = 0$, sau $a_{ii} = 0$. Prin urmare elementele diagonalei principale ale unei matrici antisimetrice sînt nule.

Matricea diagonală este matricea în care toate elementele sînt nule, în afară de cele ale diagonalei principale. Pentru matricea diagonală, avem deci :

$$a_{ij} \begin{cases} = 0 \text{ pentru } i \neq j \\ \neq 0 \text{ pentru } i = j. \end{cases} \tag{24}$$

Matricea diagonală în care toate elementele diagonalei principale sînt egale cu unitatea se numește matrice unitate. Matricea unitate se poate defini cu ajutorul simbolului lui Kronecker δ_{ik}, care prin definiție este nul pentru $i \neq k$ și egal cu unitatea pentru $i = k$:

$$\|\varepsilon\| = \begin{Vmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \delta_{13} & \dots & \delta_{1n} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \delta_{23} & \dots & \delta_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{n1} & \delta_{n2} & \delta_{n3} & \dots & \delta_{nn} \end{Vmatrix}. \tag{25}$$

O matrice de forma :

$$\|a\| = \begin{Vmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{Vmatrix} \tag{26}$$

se numește matrice coloană ; transpusa matricii coloană $\|a\|$ va fi deci o matrice linie :

$$\|a'\| = \|a_1, a_2, \dots, a_n\|. \tag{27}$$

Dacă elementele unei matrici a sînt funcții de o variabilă t,

$$a_{ij} = a_{ij}(t), \tag{28}$$

derivata matricii $\|a\|$ se obține derivînd în raport cu t elementele matricii

$$\frac{d}{dt}\|a\| = \left\| \begin{matrix} \frac{da_{11}}{dt} & \frac{da_{12}}{dt} & \dots & \frac{da_{1n}}{dt} \\ \frac{da_{21}}{dt} & \frac{da_{22}}{dt} & \dots & \frac{da_{2n}}{dt} \\ \dots\dots\dots\dots\dots & & & \\ \frac{da_{n1}}{dt} & \frac{da_{n2}}{dt} & \dots & \frac{da_{nn}}{dt} \end{matrix} \right\|, \tag{29}$$

sau prescurtat, înlocuind operatorul $\frac{d}{dt}$ prin simbolul D

$$D\|a\| = \|Da\|. \tag{30}$$

Avem de asemenea :

$$\int_{t_0}^{t} \|a\|\,dt = \left\| \begin{matrix} \int_{t_0}^{t} a_{11}\,dt & \int_{t_0}^{t} a_{12}\,dt & \dots & \int_{t_0}^{t} a_{1n}\,dt \\ \int_{t_0}^{t} a_{21}\,dt & \int_{t_0}^{t} a_{22}\,dt & \dots & \int_{t_0}^{t} a_{2n}\,dt \\ \dots\dots\dots\dots\dots & & & \\ \int_{t_0}^{t} a_{n1}\,dt & \int_{t_0}^{t} a_{n2}\,dt & \dots & \int_{t_0}^{t} a_{nn}\,dt \end{matrix} \right\|. \tag{31}$$

Prin urmare integrarea unei matrici între anumite limite de integrare se face integrînd între aceleași limite elementele matricii.

Notînd prin Q simbolul integrării $\int_{t_0}^{t}(\ )\,dt$, vom putea scrie :

$$Q\|a\| = \|Qa\|. \tag{32}$$

În cazul în care numărul liniilor unei matrici nu este egal cu numărul coloanelor sale, matricea se numește dreptunghiulară :

$$a = \left\| \begin{matrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots\dots\dots\dots & & & \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{matrix} \right\|. \tag{33}$$

Pentru ca două matrici dreptunghiulare să se poată înmulți, trebuie ca numărul de coloane al matricii întîi să fie egal cu numărul de linii al matricii a doua :

$$\left\| \begin{matrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots\dots\dots\dots & & & \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{matrix} \right\| \cdot \left\| \begin{matrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots\dots\dots\dots & & & \\ b_{q1} & b_{p2} & \dots & b_{pn} \end{matrix} \right\| = \left\| \begin{matrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots\dots\dots\dots & & & \\ c_{p1} & c_{p2} & \dots & c_{pn} \end{matrix} \right\|. \tag{34}$$

Suma S a elementelor matricii (33) se poate calcula însumînd elementele dintr-o linie şi apoi adunînd sumele care corespund diferitelor linii, sau însumînd pe coloane şi adunînd apoi sumele care corespund diferitelor coloane. Avem deci:

$$S = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} a_{ij} = \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{m} a_{ij}, \tag{35}$$

avînd în vedere că într-o sumă dublă putem schimba ordinea de însumare.

2. Consideraţii generale asupra mecanicii cuantice

După cum se ştie, începînd cu secolul XX-lea, din necesitatea de a putea explica numeroase fenomene naturale care în mecanica clasică apăreau ca inexplicabile, s-a trecut la revizuirea multora dintre tezele şi principiile mecanicii newtoniene. Astfel, Albert Einştein (1879—1955), revizuind noţiunile de spaţiu şi timp newtonian, formulează o nouă mecanică: mecanica relativistă.

Fizicianul Max Planck (1858—1947) fundamentează teoria cuantelor, iar Werner Heisenberg (n. 1901) elaborează mecanica cuantică matricială. Erwin Schrodinger (n. 1887) a arătat în 1926 echivalenţa dintre mecanica cuantică matricială şi mecanica ondulatorie, demonstrînd că deosebirea dintre ele constă doar în aparatul matematic folosit.

Heisenberg a urmărit să stabilească o relaţie între mărimile de stare mecanică ale atomului şi frecvenţele liniilor spectrale.

Frecvenţa ν corespunzătoare tranziţiei cuantice $m \to n$ fiind dată de diferenţa a doi termeni spectrali, avem:

$$\nu_{mn} = T_m - T_n, \tag{36}$$

unde T_m este termenul spectral corespunzător nivelului energetic m, iar T_n — termenul spectral corespunzător nivelului energetic n.

3. Matricile coordonată, viteză şi acceleraţie

Notînd prin q_{mn} coordonatele de poziţie ale electronului care se află pe un anumit nivel energetic al atomului şi ţinînd seama că acestea pot fi considerate ca funcţii periodice de timp, se poate scrie avînd în vedere relaţia (36):

$$q_{mn} = a_{mn}\, e^{2\pi i (T_m - T_n)t} = a_{mn}\, e^{2\pi i \nu_{mn} t}, \tag{37}$$

în care a_{mn} este amplitudinea complexă a oscilaţiei corespunzătoare tranziţiei $m \to n$, iar ν_{mn}-frecvenţa undei electromagnetice emise.

Dacă se ia în consideraţie posibilităţile de tranziţie ale electronului, ansamblul de coordonate q_{mn} se poate scrie sub forma unor matrici avînd m linii şi n coloane, anumite matrici coordonată:

$$\|q\| = \begin{Vmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & \cdots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & \cdots & q_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ q_{m1} & q_{m2} & q_{m3} & \cdots & q_{mn} \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} a_{11}\, e^{2\pi i \nu_{11} t}, & a_{12}\, e^{2\pi i \nu_{12} t}, & \ldots, & a_{1n}\, e^{2\pi i \nu_{1n} t} \\ a_{21}\, e^{2\pi i \nu_{21} t}, & a_{22}\, e^{2\pi i \nu_{22} t}, & \ldots, & a_{2n}\, e^{2\pi i \nu_{2n} t} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{m1}\, e^{2\pi i \nu_{m1} t}, & a_{m2}\, e^{2\pi i \nu_{m2} t}, & \ldots, & a_{mn} e^{2\pi i \nu_{mn} t} \end{Vmatrix}. \tag{38}$$

Din egalitatea (36), rezultă :

$$\nu_{mn} = -(T_n - T_m) = -\nu_{nm}. \tag{39}$$

Amplitudinile a_{mn} și a^*_{nm}, a_{nm} și a^*_{mn} sînt imaginar conjugate, adică :

$$a_{mn} = a^*_{nm}\,;\; a_{nm} = a^*_{mn}. \tag{40}$$

Mărimea complex-conjugată mărimii q_{mn} fiind :

$$q^*_{mn} = a^*_{nm}\, e^{-2\pi\nu i_{mn}t}, \tag{41}$$

ținînd seama de (39) și (40), rezultă :

$$q^*_{mn} = a_{nm}\, e^{2\pi\nu i_{nm}t} = q_{nm} \tag{42}$$

și

$$q^*_{nm} = a_{mn}\, e^{2\pi i\nu_{mn}t} = q_{mn}. \tag{43}$$

Matricea coordonată (38) se mai scrie, deci :

$$\|q\| = \begin{Vmatrix} q_{11}\; q_{12} & \cdots & q_{1n} \\ q^*_{12}\; q_{22} & \cdots & q_{2n} \\ \cdots\cdots & & \\ q^*_{1m}\, q^*_{2m} & \cdots & q_{mn} \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} a_{11}\; e^{2\pi i\nu_{11}t}, & a_{12}\; e^{2\pi i\nu_{12}t}, & \ldots, a_{1n}\; e^{2\pi i\nu_{1n}t} \\ a^*_1\; e^{-2\pi i\nu_{12}t}, & a_{22}\; e^{2\pi i\nu_{22}t}, & \ldots, a_{2n}\; e^{2\pi i\nu_{2n}t} \\ \cdots\cdots & & \\ a^*_{1m}\, e^{-2\pi i\nu_{1m}t}, & a^*_{2m}\, e^{-2\pi i\nu_{2m}t}, & \ldots, a_{3m} e^{-2\pi i\nu_{mn}t} \end{Vmatrix} \tag{44}$$

Elementele matricii (44) simetrice în raport cu diagonala principală fiind cantități complexe conjugate, rezultă că matrice $\|q\|$ este o matricea hermitică. Matricea viteză $\|\dot{q}\|$ rezultă derivînd în raport cu timpul matricea coordonată $\|q\|$; avem, deci :

$$\|\dot{q}\| = \frac{d}{dt}\|q\|,$$

adică :

$$\|\dot{q}\| = \begin{Vmatrix} \frac{dq_{11}}{dt} & \frac{dq_{12}}{dt} & \frac{dq_{13}}{dt} & \cdots & \frac{dq_{1n}}{dt} \\ \frac{dq_{21}}{dt} & \frac{dq_{22}}{dt} & \frac{dq_{23}}{dt} & \cdots & \frac{dq_{2n}}{dt} \\ \cdots\cdots & & & & \\ \frac{dq_{m1}}{dt} & \frac{dq_{m2}}{dt} & \frac{dq_{m3}}{dt} & \cdots & \frac{dq_{mn}}{dt} \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} \dot{q}_{11}\; \dot{q}_{12}\; \dot{q}_{13} \cdots \dot{q}_{1n} \\ \dot{q}_{21}\; \dot{q}_{22}\; \dot{q}_{23} \cdots \dot{q}_{1n} \\ \cdots\cdots\cdots \\ \dot{q}_{m1}\; \dot{q}_{m2}\; \dot{q}_{m3} \cdots \dot{q}_{mn} \end{Vmatrix}. \tag{45}$$

Ținînd seama că :

$$q_{mn} = 2\pi i\;\nu_{mn}\, a_{mn}\, e^{2\pi i\nu_{mn}t} = 2\pi i\;\nu_{mn}\, q_{mn}, \tag{46}$$

rezultă :

$$\|\dot{q}\| = \begin{Vmatrix} 2\pi i\;\nu_{11}\; q_{11}, & 2\pi i\;\nu_{12}\; q_{12}, & \ldots, & 2\pi i\;\nu_{1n}\, q_{1n} \\ 2\pi i\;\nu_{21}\; q_{21}, & 2\pi i\;\nu_{22}\; q_{22}, & \ldots, & 2\pi i\;\nu_{2n}\, q_{2n} \\ \cdots\cdots & & & \\ 2\pi i\;\nu_{m1}\; q_{m1}, & 2\pi i\;\nu_{m2}\; q_{2m}, & \ldots, & 2\pi i\;\nu_{mn}\, q_{mn} \end{Vmatrix} =$$

$$= 2\pi i \begin{Vmatrix} \nu_{11}\; q_{11}, & \nu_{12}\; q_{12} \cdots & \nu_{1n}\; q_{1n} \\ \nu_{21}\; q_{21}, & \nu_{22}\; q_{22} \cdots & \nu_{2n}\; q_{2n} \\ \cdots\cdots & & \\ \nu_{m1}\; q_{m1}, & \nu_{m2}\, q_{m2} \cdots & \nu_{mn}\; q_{mn} \end{Vmatrix}.$$

Înmulțind matricea viteză $\|\dot{q}\|$ cu masa electronului m_0 se obține matricea impuls $\|p\|$; termenul general al acestei matrice fiind:

$$p_{mn} = m_0 \dot{q}_{mn} = 2\pi i\, m_0\, \nu_{mn}\, q_{mn}, \tag{48}$$

rezultă:

$$\|p\| = m_0 \begin{Vmatrix} \dot{q}_{11} & \dot{q}_{12} & \cdots & \dot{q}_{1n} \\ \dot{q}_{21} & \dot{q}_{22} & \cdots & \dot{q}_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \dot{q}_{m1} & q_{m2} & \cdots & \dot{q}_{mn} \end{Vmatrix} = 2\pi i\, m_0 \begin{Vmatrix} \nu_{11} q_{11} & \nu_{12} q_{12} & \cdots & \nu_{1n} q_{1n} \\ \nu_{21} q_{21} & \nu_{22} q_{22} & \cdots & \nu_{2n} q_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \nu_{m1} q_{m1} & \nu_{m2} q_{m2} & \cdots & \nu_{mn} q_{mn} \end{Vmatrix} \tag{49}$$

Matricea accelerație $\|\ddot{q}\|$ se obține calculînd derivata de ordinul doi, în raport cu timpul, a matricii coordonată $\|q\|$; avem:

$$\|\ddot{q}\| = \frac{d^2}{dt^2}\|q\|,$$

adică:

$$\|\ddot{q}\| = \begin{Vmatrix} \frac{d^2 q_{11}}{dt^2} & \frac{d^2 q_{12}}{dt^2} & \cdots & \frac{d^2 q_{1n}}{dt^2} \\ \frac{d^2 q_{21}}{dt^2} & \frac{d^2 q_{22}}{dt^2} & \cdots & \frac{d^2 q_{2n}}{dt^2} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \frac{d^2 q_{m1}}{dt^2} & \frac{d^2 q_{m2}}{dt^3} & \cdots & \frac{d^2 q_{mn}}{dt^2} \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} \ddot{q}_{11} & \ddot{q}_{12} & \cdots & \ddot{q}_{1n} \\ \ddot{q}_{21} & \ddot{q}_{22} & \cdots & \ddot{q}_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \ddot{q}_{m1} & \ddot{q}_{m2} & \cdots & \ddot{q}_{mn} \end{Vmatrix} \tag{50}$$

Ținînd seama de (37), rezultă:

$$\ddot{q}_{mn} = -4\pi^2 \nu_{mn}^2\, a_{mn}\, e^{2\pi i \nu_{mn} t} = -4\pi^2 \nu_{mn}^2\, q_{mn}: \tag{51}$$

avem deci:

$$\|\ddot{q}\| = = -4\pi^2 \begin{Vmatrix} \nu_{11}^2 q_{11} & \nu_{12}^2 q_{12} & \cdots & \nu_{1n}^2 q_{1n} \\ \nu_{21}^2 q_{21} & \nu_{22}^2 q_{22} & \cdots & \nu_{2n}^2 q_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \nu_{m_1}^2 q_{m1} & \nu_{m_2}^2 q_{m2} & \cdots & \nu_{mn}^2 q_{mn} \end{Vmatrix}. \tag{52}$$

Între matricea coordonată $\|q\|$ și matricea impuls $\|p\|$ există următoarea egalitate matricială, stabilită de Heisenberg:

$$\|p\| \cdot \|q\| - \|q\| \cdot \|p\| = \frac{h}{2\pi i}\|\varepsilon\|, \tag{53}$$

unde h este constanta lui Planck, iar $\|\varepsilon\|$ matricea unitate.

Ținînd seama că matricea impuls $\|p\| = m_0 \|\dot{q}\|$, egalitatea (53) devine:

$$\|\dot{q}\| \cdot \|q\| - \|q\| \cdot \|\dot{q}\| = \frac{h}{2\pi i m_0}\|\varepsilon\|, \tag{54}$$

sau dezvoltat :

$$\left\| \begin{matrix} \dot{q}_{11} & \dot{q}_{12} & \cdots & \dot{q}_{1n} \\ \dot{q}_{21} & 22\,\dot{q} & \cdots & \dot{q}_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \dot{q}_{m1} & \dot{q}_{m2} & \cdots & \dot{q}_{mn} \end{matrix} \right\| \cdot \left\| \begin{matrix} q_{11} & q_{12} & \cdots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & \cdots & q_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ q_{m1} & q_{m2} & \cdots & q_{mn} \end{matrix} \right\| -$$

$$- \left\| \begin{matrix} q_{11} & q_{12} & \cdots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & \cdots & q_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ q_{1m} & q_{m2} & \cdots & q_{mn} \end{matrix} \right\| \cdot \left\| \begin{matrix} \dot{q}_{11} & \dot{q}_{12} & \cdots & \dot{q}_{1n} \\ \dot{q}_{21} & \dot{q}_{22} & \cdots & \dot{q}_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \dot{q}_{m1} & \dot{q}_{m2} & \cdots & \dot{q}_{mn} \end{matrix} \right\| = \frac{h}{2\pi i m_0} \left\| \begin{matrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \cdots & \delta_{1n} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \cdots & \delta_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \delta_{m1} & \delta_{m2} & \cdots & \delta_{mn} \end{matrix} \right\|. \tag{55}$$

În baza regulei (9) de înmulțire a matricilor, elementul din linia m și coloana n a primei matrici produs va fi :

$$(\dot{q} \cdot q)_{mn} = \sum_{j=k=1}^{j=k=n} \dot{q}_{mj}\, q_{kn}\,; \tag{56}$$

sau ținînd seama de (46) :

$$(\dot{q} \cdot q)_{mn} = 2\pi i \sum_{j=k=1}^{j=k=n} \nu_{mj}\, q_{mj}\, q_{kn}. \tag{57}$$

Analog se obține expresia elementului din linia m și coloana n a celei de a doua matrice produs :

$$(b\dot{q})_{mn} = \sum_{j=K=1}^{j=K=n} q_{mj}\, \dot{q}_{kn} = 2\pi i \sum_{j=K=1}^{j=K=n} \nu_{kn}\, q_{mj}\, q_{kn}. \tag{58}$$

Prin urmare membrul întîi al egalității (55) este o matrice al cărui element general este :

$$\sum_{j=K=1}^{j=K=n} (q_{mj}\, \dot{q}_{kn} - \dot{q}_{mj}\, q_{kn}) = 2\pi i \sum_{j=K=1}^{j=K=n} (\nu_{mj} - \nu_{kn})\, q_{mj}\, q_{kn} = \frac{h}{2\pi i\, m_0}\, \delta_{mn},$$

de unde :

$$\sum_{j=K=1}^{j=K=n} (\nu_{mj} - \nu_{kn})\, q_{mj}\, q_{kn} = -\frac{h}{4\pi^2 m_0}\, \delta_{mn}. \tag{60}$$

Limitîndu-ne la termeni diagonali, adică pentru $m = n$, egalitatea (60) devine :

$$\sum_{j=K=1}^{j=K=m} (\nu_{mj} - {}_{km}\nu)\, q_{mj}\, q_{km} = -\frac{h}{4\pi^2 m_0}. \tag{61}$$

Ținînd seama de relațiile (39) și (43), egalitatea (61) devine :

$$\sum_{K=1}^{m} |q_{mk}|^2\, \nu_{mk} = -\frac{h}{8\pi^2 m_0}. \tag{62}$$

BIBLIOGRAFIE

[1] *André Angot* : Complemente de matematici. Editura tehnică, București — 1966.

[2] *Arghiriade E.* : Curs de algebră superioară, vol. I. Editura didactică și pedagogică, București — 1962.

[3] *Belcin Gh.* : Matrici și sisteme de ecuații liniare. În gazeta matematică seria A, nr. 1 și 2, 1967.

[4] *Беме Г* Квантовая механика. Москова 1965.
[5] *Bircă D. G.* : Noţiuni de mecanică cuantică. În manualul de fizică, vol. II, editura didactică şi pedagogică, Bucureşti — 1965.
[6] *Blohinţev D.* : Bazele mecanicii cuantice. Editura tehnică, Bucureşti — 1954.
[7] *Ciorănescu N.* : Tratat de matematici speciale. Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti — 1963.
[8] *Cişman Al.* : Fizica generală. Editura tehnică, Bucureşti — 1962.
[9] *Creangă I., Luchian T.* : Introducere în calculul tensorial. Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti — 1963.
[10] *Давыдов А* Квантовя механика. Москва 1963.
[11] *Dirac P.* : The Principles of Quantum Mechanics, Oxford — 1935.
[12] *Drăganu M.* : Introducere matematică în fizica teoretică modernă. Editura tehnică, Bucureşti — 1967.
[13] *Фадеев Д. К., Фадеева В. Н.* Вычислитнльные методы линейной алгебры. Москва 1963.
[14] *Friş S. E., Timoreva V. A.* : Curs de fizică generală. Editura tehnică, Bucureşti — 1954.
[15] *Ionescu P., Hafner H.* : Elemente de calcul tensorial şi unele aplicaţii în fizică. În revista de fizică şi chimie, nr. 3/1967.
[16] *Messiah A.* : Mécanique quantique, Paris — 1959.
[17] *Plăcinţeanu I.* : Mecanica vectorială şi analitică. Editura tehnică, Bucureşti — 1958.
[18] *Schaefer Cl.* : Einführung in die Theoretische Physik, Bd. III, 2, Berlin — 1951.
[19] *Schiff L.* : Quantum Mechanics, New-York — 1949.
[20] *Sima P.* : Curs de mecanică teoretică, litografiat, 1963.
[21] *Sima P.* : Asupra utilizării calculului tensorial în mecanica teoretică. În gazeta matematică şi fizică, seria A, nr. 10/62.
[22] *Stoenescu Al.* : Mecanica teoretică. Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti — 1963.
[23] *Ţiţeica R., Stănescu N.* : Fizica. Editura tehnică, Bucureşti — 1957.
[24] *Vasiu M.* : Fizica teoretică. Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti — 1965.
[25] *Vîlcovici V. Bălan St., Voinea R.* : Mecanica teoretică. Editura tehnică, Bucureşti — 1963.

ANALIZA ELEMENTARĂ CALITATIVĂ

C. GREFF —Universitatea Bucureşti

În majoritatea cazurilor, analiza elementară calitativă constă în transformarea elementelor constituiente ale substanţei organice în combinaţii anorganice care, apoi, sînt identificate prin metodele clasice.

Analiza elementară calitativă este de mare ajutor în identificarea unei substanţe organice necunoscute Împreună cu analizele preliminare şi probele de solubilitate, ea dă indicaţii asupra funcţiunilor chimice probabile din substanţa de cercetat.

Identificarea carbonului

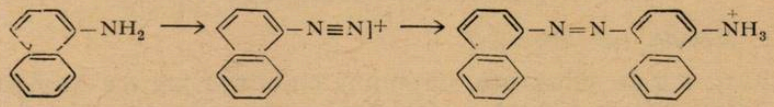
Reacţia cu oxid cupric.

Carbonul din substanţa organică este oxidat la bioxid de carbon cu ajutorul oxidului cupric. Bioxidul de carbon este apoi transformat în carbonat de bariu.

Într-o eprubetă uscată, prevăzută cu dop şi tub de sticlă recurbat, se introduc 0,01—0,05 g substanţă şi se amestecă cu 0,1—1 g CuO pulbere. Capătul liber al tubului se introduce într-o soluţie limpede de $Ba(OH)_2$. Eprubeta cu substanţă se încălzeşte la flacără. Prezenţa carbonului şi formarea CO_2 la încălzire, se pune în evidenţă prin formarea precipitatului de $BaCO_3$.

2) *Metoda Feigl cu azotat de potasiu.*

Într-o microeprubetă se introduc cîteva mg de substanță împreună cu cîteva cg de KNO_3. Pe gura eprubetei se așează o hîrtie de filtru înmuiată într-o soluție 1% de α-naftilamină în acid acetic 30%. Prin încălzirea eprubetei, carbonul din substanța organică reduce NO_3 la NO_2 și pe hîrtia de filtru apare o pată roșie datorită reacțiilor :



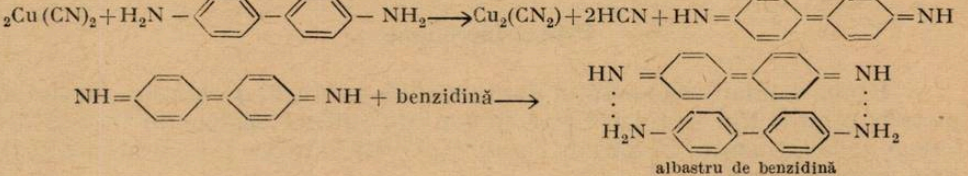
3) *Racția cu clorură amido-mercurică.*

Prin încălzirea substanței organice cu clorură amidomercurică se formează acid cianhidric, conform reacției :

$$Hg(NH_2)Cl + C \longrightarrow Hg + HCl + HCN$$

Acidul cianhidric este identificat cu ajutorul acetatului de benzidină și acetatului de cupru. Reacțiile sînt următoarele :

$$Cu^{2+} + 2HCN \longrightarrow Cu(CN)_2 + 2H^+$$



albastru de benzidină

Într-o microeprubetă se introduce o cantitate mică de substanță și cîteva mg de $Hg(NH_2)Cl$ sau dintr-un amestec în părți egale de HgO și NH_4Cl. La gura eprubetei se așează o hîrtie de filtru udată într-o soluție de reactiv. La reacție pozitivă, prin încălzirea eprubetei, pe hîrtia de filtru apare o pată de culoare albastră. Sensibilitatea = 1 γ carbon.

Reactiv : soluția I, 2,86 g $Cu(CH_3COO)_2$ într-un litru de apă. Soluția II, 675 ml soluție de acetat de benzidină, saturată la temperatura ordinară, la care se mai adaugă 525 ml apă. Înaintea efectuării experienței, se amestecă cîte două picături din soluțiile I și II și cu soluția rezultată se udă hîrtia de filtru.

4) *Reducerea arsenatului de argint.*

Carbonul din substanța organică reduce termic arsenatul de argint conform reacției

$$2Ag_3AsO_4 + C \longrightarrow 2AgAsO_3 + CO_2 + 4Ag$$

Argintul metalic format se identifică cu ajutorul unei soluții clorhidrice de acid fosfomolibdenic. Se formează AgCl și albastru de molibden care poate fi extras în alcool amilic.

Cîteva mg de Ag_3AsO_4 se amestecă într-o eprubetă cu o cantitate mică din substanța de cercetat. Se încălzește cîteva minute la flacără. După răcire, se adaugă 2 picături soluție clorhidrică de acid fosfomolibdenic. În decurs de 1—2 minute, uneori imediat, apare o colorație albastră care poate fi extrasă cu 3—4 picături de alcool amilic. Sensibilitate = 5 γ carbon.

Reactivi : a) Arsenat de argint. Se amestecă cantităţile echivalente de soluţii de Na_3AsO_4 şi $AgNO_3$. Precipitatul format se filtrează printr-o pîlnie cu masă filtrantă, se usucă la 110°C, se mojarează şi se păstrează într-un borcan de culoare închisă. b) Soluţie 3% de acid fosfomolibdenic în HCl 1 : 1.

Identificarea hidrogenului

1). *Metoda lui Schweket.*

Cîteva mg de substanţă, împreună cu cîteva mg de $Na_2S_2O_3$ se încălzesc într-o microeprubetă a cărei gură se acoperă cu o hîrtie de filtru înmuiată într-o soluţie de $Pb(CH_3COO)_2$. Se formează H_2S şi pe hîrtia de filtru apare o pată neagră de PbS.

2) *Piroliza cu sulf.*

O cantitate mică de substanţă se amestecă într-o microeprubetă cu cîteva cg de sulf. Gura eprubetei se acoperă cu o hîrtie de filtru udată cu o soluţie de $Pb(CH_3COO)_2$. Prin încălzirea eprubetei la 200—250°C, pe hîrtia de filtru apare o pată neagră, strălucitoare de PbS. Sensibilitate = 0,05—0,5 γ substanţă organică cu sulf.

Proba Lassaigne

Proba Lassaigne constă în dezagregarea substanţei organice cu sodiu metalic cînd sulful se transformă în ioni de sulfură, halogenii în ioni de halogenură iar azotul în ioni de cianură. Aceşti ioni pot fi apoi identificaţi prin metode clasice.

Într-un tubuşor de combustie, se introduce o cantitate mică de substanţă organică şi o cantitate dublă de sodiu metalic, curăţat şi uscat. Tubuşorul se încălzeşte la început cu atenţie pentru ca sodiul să reacţioneze în condiţii blînde cu substanţa organică. Se încălzeşte apoi tubuşorul la roşu timp de un minut şi se introduce într-un pahar ce conţine 10 ml apă distilată. Soluţia obţinută se filtrează. Ea trebuie să fie incoloră; în caz contrar se repetă combustia.

Identificarea azotului

1) *Formarea albastrului de Berlin.*

Ionul de cianură din soluţia Lassaigne se transformă în ferocianură ferică prin următoarele reacţii :

$$FeSO_4 + 2NaCN \longrightarrow Fe(CN)_2 + Na_2SO_4$$

$$Fe(CN)_2 + 4NaCN \longrightarrow Na_4[Fe(CN)_6]$$

$$3Na_4[Fe(CN)_6] + 4FeCl_3 \longrightarrow 12NaCl + Fe_4[Fe(CN)_6]_3$$

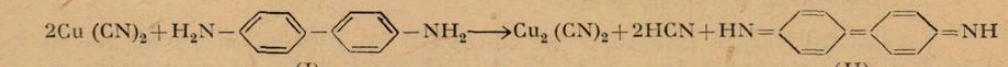
La un ml soluţie Lassaigne se adaugă cîteva cristale de sulfat feros. Se agită pînă la dizolvare şi se adaugă 2—3 picături de soluţie $FeCl_3$ 10%. Se încălzeşte timp de un minut. Se acidulează, pentru dizolvarea hidroxizilor de fier, cu acid clorhidric diluat. Apare un precipitat albastru. Dacă în substanţa organică există o cantitate mică de azot apare o coloraţie verde sau verde-albastră. În absenţa azotului soluţia rămîne galbenă.

2) *Formarea albastrului de benzidină.*

La un ml soluție Lassaigne se adaugă 2—3 picături de acid acetic și apoi un amestec pregătit din 2 picături soluție de acetat de benzidină și 2 picături soluție de acetat de cupru.

Apare o colorație albastră datorită reacțiilor:

$$2NaCN + CuSO_4 \longrightarrow Cu(CN)_2 + Na_2SO_4$$



(I) + (II) → albastru de benzidină.

3) *Dezagregare cu oxid de calciu.*

Prin încălzirea puternică a substanței de cercetat, care conține azot și hidrogen, se formează amoniac. Se obține mai întîi cianamidă de calciu care prin hidroliză pune în libertate amoniac. Acesta se identifică cu ajutorul unei hîrtii de filtru udată într-un amestec de azotat de mangan și de argint:

$$2Ag^+ + Mn^{2+} + 4OH^- \longrightarrow 2Ag + MnO_2 + 2H_2O$$

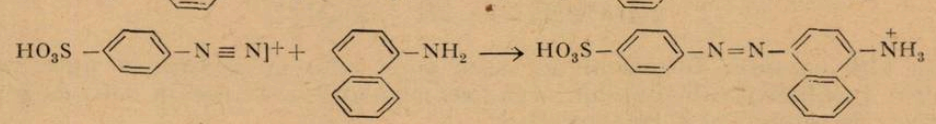
Bioxidul de mangan format se poate identifica cu ajutorul benzidinei care este transformată în albastru de benzidină.

O cantitate foarte mică de substanță se amestecă într-o microeprubetă cu $CaO-MnO_2$ (10 : 1). Gura eprubetei se acoperă cu o hîrtie de filtru udată cu o soluție de reactiv. Prin încălzirea eprubetei pe hîrtia de filtru apare o pată de culoare neagră sau brună. Prin adăugarea unei picături de soluție de benzidină apare o colorație albastră.

Reactivi: a) Soluție de azotați de mangan și de argint. Se dizolvă 2,87 g $Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ în 40 ml apă distilată și se filtrează. La aceasta se adaugă o soluție de 3,35 g $AgNO_3$ în 40 ml apă distilată și amestecul se diluează la 100 ml. În picături, se adaugă o soluție diluată de NaOH pînă la apariția unui precipitat care se filtrează. Soluția astfel preparată se păstrează în sticle de culoare brună. b) Soluție de benzidină. Se dizolvă 0,05 g benzidină sau clorhidrat de benzidină în 10 ml acid acetic glacial, se diluează la 100 ml cu apă și se filtrează.

4) *Dezagregare cu bioxid de mangan.*

Prin încălzirea puternică a substanței organice, care conține azot, împreună cu MnO_2 se formează oxizi de azot care pot fi identificați în fază gazoasă cu reactiv Griess. Au loc următoarele reacții:



Într-o microeprubetă se introduce o cantitate mică de substanță și se amestecă cu 0,2 g MnO_2. Gura eprubetei se acoperă cu o hîrtie de filtru udată cu reactiv Griess și apoi se încălzește puternic. După 1—2 minute pe hîrtia de filtru apare o pată de culoare roșie. Sensibilitate = 0,02—0,5 γ substanță cu azot.

Reactiv Griess. a) soluție 1% acid sulfanilic în acid acetic 30%). b) soluție 0,1% de α-naftilamină în acid acetic 30%.

Reactivul Griess se pregătește înainte de identificare prin amestecarea a cîte două picături din soluțiile *a* și *b*.

Identificarea sulfului

1) *Reacția cu acetat de plumb.*

La 0,5 ml soluție Lassaigne se adaugă 2—3 picături de acid acetic glacial și 2—3 picături de soluție de $Pb(CH_3COO)_2$. Apare un precipitat negru de PbS.

Reacția se mai poate executa și astfel: la 0,5 ml soluție Lassaigne se adaugă 0,5 ml acid acetic glacial. Gura eprubetei se acoperă cu o hîrtie de filtru udată cu o soluție de $Pb(CH_3COO)_2$. Prin încălzire, pe hîrtia de filtru apare o pată neagră, strălucitoare de PbS.

2) *Reacția cu nitroprusiat de sodiu.*

La 0,5 ml soluție Lassainge se adaugă 3—4 picături de soluție 1% de nitroprusiat de sodiu. Apare o coloratie violetă sau roșie datorită formării unui nou complex:

$$Na_2S + Na_2\,[Fe(CN)_5NO] \longrightarrow Na_4\,[Fe(CN)_5(NO)S]$$

3) *Reacția cu azidă de sodiu și iod.*

Reacția foarte lentă de transformare a iodului în ion de iodură, în prezența azidei de sodiu:

$$2NaN_3 + I_2 \longrightarrow 2NaI + 3N_2$$

este mult accelerată de ionul de sulfură din soluția Lassaigne.

La 5 picături soluție Lassaigne se adaugă o picătură soluție $Cd(CH_3COO)_2$ 20%, două picături acid acetic 20% și, după răcire, 1—2 picături soluție de iod-azidă de sodiu. În prezența ionilor de sulfură, are loc o degajare de azot și amestecul nu se colorează la adăugare de soluție 1% de amidon.

Reactiv: se dizolvă 3 g azidă de sodiu în 100 ml soluție 0,1 n de iod. Se păstrează în sticle de culoare închisă.

4) *Reducere pirolitică.*

Prin încălzirea formiatului de sodiu peste temperatura sa de topire (250°C), se descompune conform reacției:

$$2HCOONa \longrightarrow 2H + Na_2C_2O_4$$

Cu alte cuvinte, formiatul de sodiu topit este un reducător puternic. Prin încălzirea substanțelor organice nevolatile care conțin sulf, cu formiat de sodiu, se formează H_2S.

O cantitate mică de substanță se evaporă împreună cu 2—3 picături soluție 20% de HCOONa într-o microeprubetă. Gura eprubetei se acoperă cu o hîrtie de filtru udată cu o soluție de $Pb(CH_3COO)_2$. Prin încălzirea puternică a eprubetei, pe hîrtia de filtru apare o pată neagră de PbS. Sensibilitate = 0,5—20 γ substanță cu sulf.

1) *Proba Beilstein.*

Combinațiile organice, conținînd halogen și hidrogen, se descompun prin încălzire, cu formare de acid halogenat (HCl, H Br sau HI). Prin amestecarea probei cu CuO se formează halogenură de cupru, CO_2 și apă. Halogenura de cupru dă o colorație caracteristică verde sau albastră-verde flăcării incolore a becului de gaz.

O sîrmă de cupru, prelucrată la capăt în formă de spatulă, se încălzește în flacăra oxidantă a becului pînă ce nu se mai observă vreo colorare a flăcării. Se lasă să se răcească și se adaugă cîteva cristale de substanță. Se încălzește puternic în flacăra incoloră a becului care se colorează în verde sau albastru-verde în cazul unei substanțe care conține halogen Sensibilitate = 0,2—0,5 γ substanță.

De remarcat faptul că unele substanțe care nu conțin halogen, dar conțin azot, dau reacție pozitivă (8-oxichinolină, tiouree, derivați piridinici, carbonat de guanidină, mercaptobenztiazol, salicilaldoximă etc.).

2) *Reacția cu azotat de argint.*

La 0,5 ml soluție Lassaigne se adaugă cîteva picături de acid azotic diluat și apoi 2—3 picături soluție 10% de $AgNO_3$. Precipită halogenurile de argint albe sau gălbui care se dizolvă în amoniac și reprecipită prin acidulare cu acid azotic.

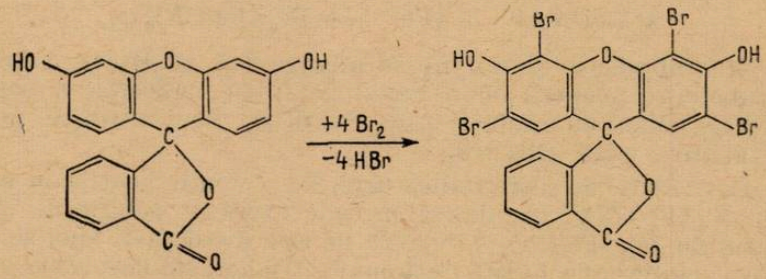
Dacă substanța conține și azot sau sulf, soluția Lassaigne acidulată cu acid azotic se fierbe 2—3 minute (se elimină HCN și se oxidează H_2S la H_2SO_4) și se precipită cu $AgNO_3$ în soluția încă fierbinte (Ag_2SO_4 este relativ solubil în apă caldă).

3) *Reacția cu fluoresceină pentru brom și clor.*

Bromul liber transformă fluoresceina în eozină roșie. La 1 ml soluție Lassaigne se adaugă 1 ml acid acetic glacial și 1—2 cg de PbO_2. Gura eprubetei se acoperă cu o hîrtie de filtru udată într-o soluție de fluoresceină. Prin încălzirea eprubetei, pe hîrtia de filtru apare o pată de culoare roz sau roșie.

Reactiv: 0,2 g fluoresceină și 0,44 g NaOH în 1000 ml apă.

Reacția care are loc este următoarea:



Oxidarea la clor nu se poate realiza decît cu H_2SO_4 și PbO_2.

La 1 ml soluție Lassaigne se adaugă 0,5 ml H_2SO_4 concentrat și 1—2 cg de PbO_2. Gura eprubetei se acoperă cu o hîrtie de filtru udată

cu o soluție de fluoresceină și bromură de potasiu. Prin încălzirea eprubetei, pe hîrtia de filtru apare o pată de culoare roz sau roșie.

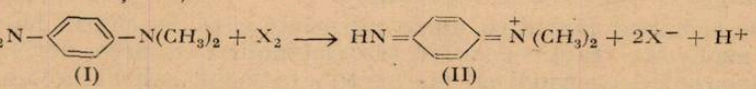
Reactiv : 0,2 g fluoresceină, 0,44 g NaOH și 0,26 g KBr în 1000 ml de apă.

4) *Oxidare la iod a iodurii de sodiu din soluția Lassaigne.*

La 1 ml soluție Lassaigne se adaugă 0,5 ml CH_3COOH glacial și 0,5 ml soluție $NaNO_2$ 20%. Se adaugă apoi 0, 5 ml $CHCl_3$ sau CS_2. Prin agitarea eprubetei, stratul inferior de solvent se colorează în violet.

5) *Identificarea halogenilor în stare liberă cu N,N-dimetil-p-fenilendiamină.*

Halogenii oxidează reactivul la roșul lui Burster (o combinație moleculară între I și II) :



(I) (II)

Patru picături din soluția Lassaigne se evaporă la sec într-o microeprubetă. Se răcește și se adaugă 4 picături amestec cromic. Microeprubeta se acoperă cu o hîrtie de filtru udată cu o soluție de dimetil-p-fenilendiamină. Prin încălzirea eprubetei într-o baie de apă la fierbere, pe hîrtia de filtru apare, în decurs de 2—3 minute, o pată de culoare roșie-violet.

Reactivi : a) Amestec cromic. Soluție saturată de $K_2Cr_2O_7$, fin divizat, în H_2SO_4 concentrat. Soluția se încălzește pînă ce nu mai dă reacție pozitivă pentru halogeni cu o hîrtie de filtru udată în soluție de dimetil-p-fenilendiamină. Acest tratament este necesar deoarece $K_2Cr_2O_7$ poate conține, ca impurități, clorură de potasiu.

b) Soluție apoasă saturată de N,N-dimetil-p-fenilendiamină.

6) *Identificarea clorului, bromului și iodului prin transformare în acizi halogenați.*

Prin acidularea soluției Lassaigne se formează acizi halogenați care pot fi identificați pe o hîrtie de filtru ce conține ferocianură de argint albă și udată cu o soluție de sulfat feric :

$$Ag_4[Fe(CN)_6] + 4X^- \longrightarrow AgX + [Fe(CN_6)]^{4-}$$

Se formează albastrul de Berlin:

$$3[Fe(CN_6)]^{4-} + 4Fe^{3+} \longrightarrow Fe_4[Fe(CN)_6]_3$$

La 0,5 ml soluție Lassaigne se adaugă 0,5 ml H_2SO_4 concentrat. Gura eprubetei se acoperă cu o hîrtie de filtru indicatoare, conținînd $Ag_4[Fe(CN)_6]$, udată cu o soluție 0,1% $Fe_2(SO_4)_3$. Prin încălzire, pe hîrtia de filtru apare o pată albastră.

Reactiv :Hîrtie de filtru indicatoare. La o soluție neutră, în apă distilată, de $K_4[Fe(CN)_6]$ se adaugă un mic exces de soluție de $AgNO_3$. Precipitatul de $Ag_4[Fe(CN)_6]$ se spală cu apă distilată și apoi se dispersează într-o soluție concentrată de amoniac. În această suspensie se introduc fîșii de hîrtie de filtru cantitativă după care acestea se usucă la 60—80°C. Amoniacul este îndepărtat și $Ag_4[Fe(CN)_6]$ rămîne în porii hîrtiei. Hîrtia indicator trebuie să fie de culoare albă sau slab gălbuie. Se păstrează în borcane de culoare închisă.

PROBLEME DE SEMINAR

Problema 1

Asist. *RUSU M.* — Facultatea de Fizică, Universitatea București

Asupra unei sfere de cupru de rază 1 cm cade un fascicol de lumină monocromatică cu $\lambda = 2000$ Å. Iluminarea este constantă în timp și corespunde la 2.10^6 cuante pe cm² și pe secundă. Să se determine variația în timp a potențialului electric al sferei de cupru, valoarea maximă a acestui potențial și timpul necesar ca sfera să ajungă la acest potențial maxim știind că totul se petrece în vid și că toți electroni scoși sînt colectați de o electrodă separată. (Potențialul de extracție pentru Cupru: 4,3 eV)

Rezolvare.

Iradierea cu lumină va duce la eliberarea unor fotoelectronii, care fiind colectați în exterior, vor determina o creștere treptată a potențialului sferei. Fenomenul este echivalent cu creșterea lucrului de extracție al electronilor din metal. Electronii vor fi scoși atît timp cît lucrul de extracție total (al cuprului + cel determinat de încărcarea electrică) va fi mai mic ca energia unui foton incident, el încetînd odată cu atingerea acestei valori:

$$h\nu = L_{Cu} + e\,V_{sferă}$$

L_{Cu} — lucrul de extracție pentru cupru $= 4{,}3$ eV

$V_{sferă} = \dfrac{Q}{C}$ — potențialul sferei

Q — sarcina totală a sferei

C — capacitatea sferei = raza ei. $= 1$ cm.

$h\nu$ — energia cuantei incidente

e — sarcina electronului

Deci

$$eV_{max} = h\nu - L_{Cu}$$

și deci *nu* depinde de fluxul incident.

Deoarece fascicolul este constant în timp, creșterea potențialului va fi constant, în timp egală cu:

$$V(t) = \frac{\Phi \cdot e}{c} \cdot t = \frac{\Phi \cdot e}{R} \cdot t.$$

Φ — fluxul de cuante incidente

$C = R$ — raza sferei $= 1$ cm $= 10^{-12}F$

t — timpul

Deci se va atinge valoarea de saturație a potențialului la momentul

$$t_{max} = \frac{R}{S\Phi \cdot e} V(t_{max}) = \frac{R}{S\Phi e}\left(\frac{h\nu - L_{Cu}}{e}\right)$$

$$\boxed{t_{max} = \frac{R}{S\Phi\, e^2}(h\nu - L_{Cu}).}$$

S — suprafața iluminată a sferei $= 2\pi R^2 = 6{,}28$ cm²

Pentru datele concrete ale problemei vom obține :

$$\lambda = 2000 \text{ Å} ; \quad L_{Cu} = 4{,}3 \ eV$$

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = 6 \ eV$$

$$eV_{max} = 6 - 4{,}3 = 1{,}7 \ (eV)$$

deci

$$\underline{V_{max} = 1{,}7 \text{ Volți}}$$

$$t_{max} = \frac{10^{-12}}{6{,}28 \cdot 10^{6} (4{,}8 \cdot 10^{-10})^2} \cdot 2{,}7 . 10^{-12} \text{ (erg)} = 9{,}5 \ 10^{-13} \text{ sec}$$

practic instantaneu.

Problema 2

Asistent *RUSU M* — Facultatea de Fizică, Universitatea București

Să se studieze influența unui cîmp magnetic static H, asupra unui proton în repaus, știind că la momentul inițial între direcția cîmpului și cea a spinului există unghiul α_0. Să se interpreteze rezultatele obținute.

Rezolvare

Momentul magnetic $\vec{v}$ al unui proton este legat de momentul cinetic propriu $\zeta \vec{I}$ prin relația :

(1) $$\vec{M} = g \mu_N \vec{I}$$

unde g-factor numeric, μ_N -magnetonul nuclear iar

$$\vec{I} = \sqrt{I (I+1)} \ \vec{u}_1$$

I — număr cuantic de spin ; $\vec{u}_r$ — versorul direcției $\dfrac{\vec{I}}{(I)}$

Deoarece momentul magnetic și cel cinetic sînt solidar legate, acțiunea unui cîmp magnetic se va exercita ca o forță perpendiculară pe planul format de momentul cinetic și cîmpul magnetic. Nucleul se comportă așa dar ca un giroscop. Să studiem această mișcare. Ea va fi dată de ecuația Newton pentru momente :

(2) $$\vec{L} = \vec{C}$$

$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$ — momentul impulsului

$\vec{C} = \vec{r} \times \vec{F}$ — momentul forței

Pentru cazul de față $\vec{C} = \vec{\mu} \times \vec{M}$ ținînd cont și de (1) ecuația (2) se va scrie.

$$\vec{\mu} = \gamma \vec{u} \times \vec{H} \quad \gamma \text{ fiind } = \frac{g\,\mu_2}{t} \tag{3}$$

Dacă alegem axa OZ paralelă cu H , vom obține trei ecuații cu trei necunoscute : μ_x, μ_y, μ_z :

$$\begin{cases} \mu_x = \gamma \mu_y H \\ \mu_y = -\gamma \mu_x H \\ \mu_z = 0 \end{cases} \tag{4}$$

Care au soluțiile

$$\begin{cases} \mu_x(t) = (\vec{\mu}) \sin \alpha_0 \cdot \cos \omega t \\ \mu_y(t) = (\vec{\mu}) \sin \alpha_0 \,.\sin \omega t \\ \mu_z(t) = (\vec{\mu}) \cos \alpha_0 \end{cases} \quad \text{cu } \omega = \gamma H - \text{pulsație Larmor} \tag{5}$$

Concluzia rezultată din aceste soluții :

a) proiecția pe axa z a momentului rămîne constantă în timp.

b) — proiecțiile pe axele x și y variază în timp, armonic mișcarea corespunzînd unei rotații cu viteza unghiulară constantă ω căci :

$$\text{tg } \varphi = \frac{\mu_y(t)}{\mu_x(t)} = \text{tg } wt \quad \text{deci} \quad \varphi = \omega t,$$

Problema 3

Asist. *CORBĂNESCU GHEORGHE* — Fac. de fizică — IAȘI

Care este numărul total de coeficienți Clebsch-Gordon ce se pot obține pentru un j_1 și j_2 dat

R. Soluția se bazează pe observația că un coeficient Clebsch-Gordon este de forma :

$$C^{j_1,\ j_2,\ j}_{m_1,\ m_2,\ m},$$

unde

$j\ j_1 + j_2,\ j_1 + j_2 - 1, \ldots,\ j_1 - j_2 \qquad (j_1 \geqslant j_2)$

$m = j,\ j-1, \ldots,\ -j,$

$m_1 = j_1,\ j_1 - 1, \ldots,\ -j_1,$

$m_2 = j_2,\ j_2 - 1, \ldots,\ -j_2$ și

$m = m_1 + m_2$.

De aceea numărul total de coeficienți este egal cu numărul de grupe distincte (j, m_1, m_2, m). Un grup trebuie să difere de celălalt prin cel puțin unul din cele patru numere.

— În cazul $j = j_1 + j_2$ avem cu totul $(2j_1 + 1)(2j_2 + 1)$ coeficienți

— Pentru $j = j_1 + j_2 - 1$, vor fi cu doi mai puțin

— Cînd $j = j_1 + j_2 - 2$ numărul lor va fi cu patru mai mic ca înainte și cu șase mai mic decît în primul caz.

— Continuînd același raționament ajungem la concluzia că în cazul cînd $j = j_1 + j_2 - 2j_2 = j_1 - j_2$, vor fi în număr de $(2j_1+1)(2j_2+1) - 2.1 - 2.2 - 2.3 - \ldots - 2(2j_2+1)$ coeficienți. Dacă însumăm toate aceste valori găsim :

$$N = -\frac{2j_2(2j_2+1)(2j_2+2)}{2} + (2j_1+1)(2j_2+1)^2$$

unde $j_2 < j_1$.

NOUTĂȚI ÎN CERCETAREA ȘTIINȚIFICĂ ȘI TEHNICĂ

Cristale semiconductoare noi

Pentru a se contracara efectele distrugătoare ale temperaturilor înalte asupra cristalelor semiconductoare clasice, savanții sovietici au creat alte cristale speciale de tip nou.

După un bombardament cu radiații ionice obținute plecîndu-se de la o sare de litiu sau bor și accelerate pînă la circa 40 K.e.V. diamantele obișnuite sînt transformate în semiconductoare foarte rezistente, atît față de agenții chimici cum ar fi acizii cît și față de agenții fizici cum ar fi temperatura.

Măsurarea umidității continui prin hiperfrecvențe

În Anglia s-a elaborat un aparat industrial pentru măsurarea continuă a umidității. Principiul măsurării umidității prin hiperfrecvențe aplicat la acest aparat a fost descoperit întîmplător de către inginerii care lucrau în domeniul radarului.

Ei au observat o atenuare foarte importantă a frecvenței microundelor pe vreme ploioasă. De aici s-a născut ideia utilizării absorbției energiei a microundelor în materiale solide, fibroase și granuloase ca indicator continuu de măsurarea variației umidității.

Aparatul este format din două părți distincte, un emițător și un receptor. Curentul de ieșire poate fi trimis către un indicator, apoi către un înregistrator sau un regulator de umiditate.

Microundele modulate trec astfel de-a lungul substanței, iar detectorul produce un curent a cărei tensiune este în funcție de diferența dintre semnalul transmis și cel primit.

Aparatul este etalonat în funcție de caracteristicile și volumul materialelor care pot fi extrem de variate/materiale de construcție, cenușe de furnale, săpunuri cereale și diferite produse alimentare.

Nou material ceramic transparent

Laboratoarele de cercetare a firmei nord americane. General Electric Co. au pus la punct un nou material ceramic „Ytralox" a cărui transparență o întrece pe cea a sticlei putînd suporta temperaturi superioare. Punctul de topire a Ytralox-ului este peste 2200°C în timp ce sticlele de calitate superioară se topesc între 1100—1400°C.

Noul material ceramic care deja a căpătat numeroase utilizări în știință industrie are și aplicații militare și servește la construcția diferitelor aparate ultrasensibile și rezistente, are la bază oxidul de ytriu Y_2O_3.

O principală utilizare este la construcția unor becuri cu incandescența de mare intensitate fără a fi nevoie de a se mări volumul, de asemenea se utilizează ca vizor la furnale și lentile în microscopia materialelor în stare de fuziune.

Cele mai bune rezultate le-au dat materialele cu un conținut de 90% Y_2O_3 și 10% oxid de thoriu ThO_2.

Bitum de petrol în stare de gel

În Ungaria s-a elaborat un procedeu de obținerea bitumului sub formă de gel cu o elasticitate și o plasticitate mărită față de bitumul obișnuit. În acest scop se distilă în bloc amestecuri de țițeiuri bituminoase /10—15%/ și asfaltoase/13—20%/.

Produsul are numeroase utilizări în domeniul construcțiilor și a lianților.

Diamant special pentru detectarea radiațiilor infraroșii

În SUA s-a construit un detector pentru radiațiile infraroșii de o sensibilitate încă neatinsă și care poate detecta căldura emisă de către flacăra unei lumînări la o distanță de 5 km.

Detectorul funcționează pe principiul transformării energiei termice în radiații, este capabil să amplifice presiunea, care este apoi înregistrată prin mijloace optice. Detectorul poate de asemenea funcționa ca paravan transparent pentru radiațiile infraroșii prin intermediul unei diamant special de „Tip II" care se caracterizează printr-un conținut extrem de scăzut de azot de 0,001% în loc de 0,25% ca în varietățile obișnuite de diamant. Această varietate rară de diamant, reprezintă mai puțin de a mia parte din producția globală mondială de diamant și este singurul material cunoscut care poate transmite linear radiații de lungimi de undă cuprinse între 0,3 și 1000 microni.

Acțiunea insecticidelor asupra oulelor păsărilor

Întrebuințarea abuzivă în agricultură, horticultură și silvicultură a insecticidelor a început deja să aibă efecte dezastroase asupra faunei în general și în mod special asupra păsărilor zburătoare care se hrănesc cu semințe și insecte omorîte cu ajutorul insecticidelor. Toate cercetările au

dus la concluzia că la femelele care s-au hrănit cu astfel de raţii infectate cu insecticide, ouăle lor sînt infectate puternic.

Insecticidele cele mai utilizate ca rotenona extrasă din rădăcina de popilionaceelor, piretru sau insecticidele sintetice clorurate (D.D.T., Aldrina, endrina) sau fosforate ca parathion trec în gălbenuşul oulelor în proporţie de 8—9 la milion la păsările de pădure şi 4 părţi la un milion la păsările de apă.

Datorită conţinutului de insecticide se provoacă moartea embrionului sau deformarea scheletului şi penelor, iar numeroşi pui nou născuţi, mor în primele zile.

Prof. *M. Mironescu*

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

Bibl. O.

I.P.I. — c. 5079

43 453

SOCIETATEA DE ŞTIINŢE FIZICE ŞI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL V

4

APRILIE 1968

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR 23, RAION 16 FEBRUARIE BUCUREȘTI 45. TELEFON 16.42.86

SUMAR

M. DIMA Pag.

Comemorarea Academicianului Radu Cernătescu 121

I. POPESCU

Activitatea științifică a Academicianului Radu Cernătescu 127

M. STOICA

Cauciucul sintetic 132

D. MĂRGINEANU

Studierea termodinamică a activității electrice a celulelor vii. 146

C. GHEORGHIU

Tehnologia de fabricare a amoniacului. 150

P. SIMA, N. MORARU

Aparat pentru determinarea coeficientului de frecare de alunecare pe cale dinamică. . . . 155

N. GHERBANOVSCHI

Efectul Pinch — problemă de seminar 159

COMITETUL DE REDACȚIE

Ion Agîrbiceanu, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Teodor Bohățiel,** asist. univ. — redactor; **Simion Bulgarea,** prof.; **Maria Codreanu,** prof.; **Nicolae Martalogu,** conf. univ.; **Eleonora Mihul,** cercetător; **Ion C. Moisil,** conf. univ.; **Aliee Negoescu,** prof.; **Ion C. Petrea,** conf. univ.; **Victor Sahini,** prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România). Redactor responsabil: **Constantin D. Albu,** lector univ.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A

volumul V, nr. 4 aprilie, 1968

COMEMORAREA ACADEMICIANULUI RADU CERNĂTESCU

prof. univ. *MIHAI DIMA* — Iaşi

S-au împlinit la 17 ianuarie zece ani de cînd profesorul Radu Cernătascu a plecat din rîndurile noastre, de cînd inima lui caldă şi generoasă a încetat să mai bată. Comemorînd acest trist eveniment, îndeplinim o datorie sacră faţă de acela care a fost un mare suflet, un strălucit om de ştiinţă, un cercetător cu larg orizont, un eminent profesor şi un iubit educator al tineretului.

Profesorul Radu Cernătescu a fost una din cele mai luminoase figuri de savanţi progresişti ai ţării noastre, un mare democrat, un patriot devotat clasei muncitoare, pe care poporul român, învăţămîntul superior şi Academia, îl cinstesc cu mîndrie la nivelul marilor reprezentanţi ai culturii sale.

Profesorul Radu Cernătescu s-a născut în oraşul Huşi, la 17 august 1894 din părinţi intelectuali. Tatăl său era judecător, mama, fica profesorului P. Poni. Studiile secundare le-a făcut la liceul naţional din Iaşi, secţia reală, luîndu-şi bacalaureatul în 1913, după care, sub imboldul bunicului său P. Poni, se înscrie la facultatea de ştiinţe, secţia fizico-chimice de la Universitatea din Iaşi, ale cărui cursuri le frecventează în perioada 1913—1916, o perioadă de renaştere a chimiei la Iaşi, prin pleiada unor eminenţi profesori ca : P. Bogdan, Anastasie Obregia, N. Costăchescu, E. Neculce şi alţii.

Atît în timpul liceului, care era unul din cele mai bune din ţară, cît mai ales în universitate, şi-a însuşit temeinice cunoştinţe de cultură generală şi de specialitate.

După obţinerea titlului de licenţiat în fizico-chimice în anul 1916, este numit în 1918, asistent la Catedra de chimie fizică condusă de profesorul P. Bogdan, sub a cărui îndrumare îşi pregăteşte teza de doctorat în chimie cu titlul „Legea lui Dalton aplicată la soluţii concentrate" şi pe care o susţine în 1920.

La scurtă vreme, după obţinerea titlului de doctor, îşi trece cu succes examenul de docenţă în Chimie fizică (la 13 sept. 1924) şi este numit, la 1 ianuarie 1925, conferenţiar suplinitor de chimie analitică post în care se definitivează în 1928.

Se cer remarcate calităţile deosebite de cercetător, pregătirea serioasă şi perseverenţa tînărului asistent care, în numai 6 ani, reuşeşte să treacă în mod strălucit cele două probe pentru obţinerea titlului ştiinţific de doctor şi docent în chimie.

Prin transformarea conferinţei de Chimie analitică în catedră, Radu Cernătescu este numit, la 1 iulie 1932, profesor agregat, iar mai tîrziu, peste 4 ani, titularizat în acelaşi post. În felul acesta, Radu Cernătescu a

fost primul profesor de Chimie analitică al facultății de științe din Iași. Ținea cursuri studenților de la secția Chimie și secția Chimie tehnologică a Universității.

După înființarea Școlii Politehnice „Gh. Asachi", printre ai cărei ctitori se numără, funcționează, în 1938—1940, ca profesor de Chimie fizică și analitică, organizînd laboratorul și punînd bazele unui curs adaptat nevoilor de pregătire inginerească.

În sfîrșit, după moartea profesorului N. Costăchescu, este chemat, în anul 1940, la Catedra de Chimie anorganică a Universității din Iași, catedră pe care o ilustrează cu pasiune și pricepere, cu entuziasm și devotament, pînă la 17 ianuarie 1958, cînd ne părăsește răpus de o boală necruțătoare.

Nu putem încheia această scurtă înșirare de date biografice, fără a menționa faptul că, după eliberarea patriei noastre — 23 August 1944 —, profesorului Radu Cernătescu, prețuit de regimul democrat popular, i se încredințează an de an sarcini de mai mare răspundere. Mai întîi decan al facultății de Științe pentru a cărei readucere de la Zlatna la Iași și reorganizare, muncește fără răgaz, apoi este ales în 1948, membru titular al Academiei R.P.R. și președintele filialei Iași a Academiei, pe care o conduce pînă la ultima clipă a vieții.

A activat ca deputat în Sfatul Popular Regional și Marea Adunare Națională și a fost distins de două ori cu Ordinul Muncii clasa I (în 1948 și 1954), cu distincția „Eliberarea de sub jugul fascist" și cu Premiul de Stat clasa I în anul 1950, pentru lucrările : „Derivați halogenați ai bazelor cu azot în nucleu".

În ultimele luni ale vieții, a asistat cu deplină satisfacție și emoție, la inaugurarea Institutului de chimie ce poartă numele lui P. Poni, realizat prin priceperea sa și cu sprijinul larg al P.C.R. și guvernului țării.

Radu Cernătescu a fost cîștigat încă de tînăr de ideile progresiste înoitoare; asupra lui a exercitat o puternică influență Marea Revoluție Socialistă din Octombrie. Nedreptățile sociale, întregul eșafodaj de minciuni și umilințe proprii orînduirii burghezo-moșierești, l-au revoltat profund. Marxism-leninismul i-a indicat singura cale pentru crearea unei societăți în care să triumfe dreptatea socială. Studiind de tînăr această ideologie, din lucrările clasicilor, el și-a însușit-o și aplicat-o consecvent în întreaga sa activitate. De aceea omul și opera sa nu pot fi desprinse de concepția materialist dialectică care l-a dominat.

Ca profesor, prelegerile sale s-au remarcat, chiar de la început, prin originalitate și bogăție de idei noi, în pas cu noutățile și cu progresele ce se făceau în știința chimică. În ele se împleteau armonios cunoștințele de chimie analitică cu cele de chimie fizică, chimie anorganică, chimie organică și altele.

Dînsul nu preda o disciplină separată ci un complex în interdependență cu toate disciplinele chimice. Aceasta a fost posibil numai datorită vastei culturi științifice pe care o poseda.

De altfel, în întreaga sa pregătire și activitate didactică și științifică, prof. Radu Cernătescu a cuprins cele mai variate domenii ale științei chimice : chimie fizică, chimie analitică, chimie organică, chimie biologică și chimie farmaceutică. La dînsul era un adevărat pelerinaj de dornici de informații în cele mai variate domenii ale științei.

Cursurile sale erau deosebit de însuflețite și captivau pe studenți, de care era foarte iubit și respectat și față de care se purta ca un părinte.

Cine l-a ascultat pe profesorul Cernătescu expunîndu-şi prelegerea, nu se poate să nu fi rămas profund impresionat, vrăjit de calităţile sale didactice. Expunerea lui caldă, convingătoare, îţi stăpînea atenţia; claritatea şi profunzimea cu care aborda problemele, conturau o rară măiestrie pedagogică. În faţa studenţilor săi, prof. Radu Cernătescu nu-şi mai aparţinea; nici boală, nici oboseală nu putea să-i stingă entuziasmul, nu putea să-i fure strălucirea ochilor sau să-i micşoreze dinamismul.

El se dăruia cu pasiune cărturarului care înţelegea că prin elevii săi prind viaţă şi se amplifică propriile frămîntări intelectuale, că nu poate fi o mai mare satisfacţie decît aceea pe care ţi-o dă însuşirea largă a cunoştinţelor predate, efect al datoriei împlinite.

Pentru prof. Radu Cernătescu devenise crez principiul ca studentul să se adape cît mai mult din cunoştinţele profesorului. Prin astfel de înţelegere a modului de predare, dînsul a fost exemplu viu pentru colegii săi, care-l preţuiau în cel mai înalt grad, cît şi pentru tinerele cadre didactice care se iniţiau în munca de pregătire a studenţilor.

El era preocupat în mod deosebit de instruirea cît mai completă a studenţilor, cărora le indica larg sursele de informare.

Prof. Radu Cernătescu îşi preţuia elevii. El îi privea cu bunătate, îi ajuta, îi încuraja, îi înţelegea. Datorită calităţilor şi cunoştinţelor vaste, datorită comportării sale, prof. Radu Cernătescu se bucura chiar de la primele contacte de stima, respectul, admiraţia studenţilor şi colaboratorilor săi.

Munca didactică, desfăşurată timp de 40 de ani în cadrul Universităţii, a fost deosebit de valoroasă, de bogată prin conţinut. Vom menţiona printre rezultatele ei, realizarea unui curs de chimie analitică axat pe cele mai noi cuceriri ale chimiei fizice, în strînsă legătură cu disciplinile de chimie anorganică şi organică prin care pune bazele studiului chimiei analitice în învăţămîntul superior din Iaşi, cum şi redactarea, între anii 1948—1951, în colaborare cu prof. Margareta Poni, a Tratatului elementar de Chimie anorganică în 3 volume cu peste 1400 pagini.

Această lucrare, care depăşeşte prin amploarea sa cadrul unui curs universitar, întocmită cu o mare scrupulozitate ştiinţifică şi în urma consultării unei bogate bibliografii, se impune în rîndul celor mai serioase tratate de chimie anorganică în ţara noastră.

În predarea cursurilor la această disciplină, cît şi în lucrările ştiinţifice efectuate în cadrul acestei catedre, prof, R. Cernătescu a dat tot ce a fost mai ales din tezaurul ştiinţific acumulat în mai mult de două decenii.

Parcurgînd acest curs ca şi celelalte cursuri predate de dînsul, se constată uşor cît de consecvent şi armonios introduce concepţia materialist-didactică despre lume.

Activitatea didactică a prof. R. Cernătescu s-a împletit organic cu munca de cercetare ştiinţifică. El a înţeles că sarcinile unui profesor universitar nu se limitează numai la predarea cursului, că ele sînt mult mai mari. Cercetarea ştiinţifică, munca de creaţie, viaţa de laborator, i-au dat satisfacţia care de multe ori l-au făcut să uite suferinţele fizice şi morale.

Rezultate deosebit de frumoase, a înregistrat prof. R. Cernătescu în munca organizatorică. Încă din timpul cînd era asistent, a fost un neobosit luptător pentru promovarea cercetării chimice. Din domeniul său, s-a organizat un cerc intim de studii săptămînale de referate şi comuni-

cări, cu discuţii asupra rezultatelor obţinute, asupra bibliografiei şi altele. Pe lîngă chimişti, la aceste şedinţe participau fizicieni, medici, farmacişti şi naturalişti. Prin impulsul animator dat de dînsul, prin calda atmosferă creată, aceste şedinţe s-au transformat curînd într-un cenaclu al cercetării chimice în care se stimulau munca de cercetare şi avîntul de întrecere.

Îndemnul la studiul chimiei primit aici, a depăşit cadrul facultăţii de Ştiinţe, creind un curent de cercetare chimică în clinicele spitalelor din Iaşi şi mai ales în spitalul Socola, unde se dezvolta impetuos şcoala profesorului ieşan, academicianul Dr. C. I. Parhon.

Dorinţa şi ideile de care erau însufleţite sentimentele sale pentru dezvoltarea învăţămîntului superior din Iaşi, sînt puternic reliefate de rezultatele eforturilor depuse în această operă de către prof. R. Cernătescu. El se afla şi aici, în locul de frunte al mişcării pentru păstrarea şi dezvoltarea patrimoniului ştiinţific lăsat de predecesori. După anul 1936, găsim pe profesorul R. Cernătescu un propagandist de frunte şi un luptător neobosit pentru crearea învăţămîntului superior politehnic în Iaşi. Acestui învăţămînt superior al Moldovei, cu tradiţii adînc înfipte în istoria patriei noastre, creat cu mai mult de un secol în urmă de Gheorghe Asachi, şi întrerupt pentru o lungă perioaodă de timp, renăscut apoi în anii 1911—1912, i se pun baze temeinice acum trei decenii în urmă. Numele profesorului Radu Cernătescu stă cu cinste în cartea de aur a înfiinţării, în anul 1937, a Politehnicii „Gh. Asachi". În anul 1938, an cînd începe activitatea acestei şcoli, dînsul devine primul profesor de chimie fizică şi analitică a Facultăţii de chimie industrială de la Politehnica „Gh. Asachi".

Trecînd peste repetatele organizări şi amenajări de laboratoare, peste munca de readucere din evacuare a Universităţii la Iaşi, şi cea de organizare a Facultăţii de ştiinţe, peste cea depusă cu ocazia reformei învăţămîntului din 1948, se cer menţionate două mari acţiuni: prima, priveşte filiala Iaşi a Academiei R.S.R., iar cea de a doua, Institutul de chimie „P. Poni", actualul Institut de chimie macromoleculară „P. Poni".

Ca eminent om de ştiinţă, cultivînd în sufletul său crezul socialist şi ajutorarea poporului muncitor, prof. R. Cernătescu era mereu preocupat să vadă în Iaşul său mult iubit, o dezvoltare cît mai mare a cercetării chimice a patrimoniului lăsat de înaintaşii săi profesorii P. Poni, Anastasie Obregia, N. Costăchescu, P. Bogdan, V. Buţureanu şi alţii.

În scurt timp după alegerea sa ca membru titular al Academiei, R.S.R. în august 1948, prof. R. Cernătescu stimulat de realizările regimului democrat-popular, care-i dau mulţumire sufletească şi avînt, îşi concentrează o mare parte din activitatea sa reorganizării pe un plan larg a activităţii ştiinţifice din Iaşi, în cadrul filialei Academiei R.S.R., ale cărei baze le pune, împreună cu un grup de colaboratori, şi pe care o conduce pînă la ultima clipă a vieţii.

Bucurîndu-se de încrederea totală a partidului şi guvernului, încredere bazată pe de o parte pe cinstea sufletească mult apreciată şi valoarea ştiinţifică unanim recunoscută, realizează cea de a doua mare activitate a sa; el a reuşit să creeze la Iaşi, Institutul de chimie „P. Poni", locaş de cercetare a chimiştilor ieşeni, realizare cu care se mîndresc toţi chimiştii din ţară. Este cea mai mare acţiune pentru care prof. R. Cernătsecu a rămas profund recunoscător Partidului şi guvernului ţării, de care a fost înţeles şi sprijinit.

Ziua de 7 iunie 1957, ziua inaugurării Institutului de chimie, purtînd numele părintelui chimiei ieşene, zi sărbătorită cu o bogată sesiune ştiin-

ţifică, a fost pentru prof. R. Cernătescu cea mai frumoasă zi din viaţă, cînd cu vădită emoţie şi cu modestia ce-l caracteriza, a primit, din partea Prezidiului Academiei, şi a dăruit cercetătorilor săi iubiţi, casa lor de muncă. Este darul pe care l-a lăsat generaţiilor viitoare de chimişti, îndemnul la muncă devotată pentru continua promovare a ştiinţelor chimice româneşti.

Construit după îndicaţiile sale, şi relevînd din vreme marea importanţă a utilizării metodelor moderne de cercetare, profesorul R. Cernătescu s-a îngrijit ca în institut să se poată aplica radiochimia şi spectroscopia moleculară în cercetare. Pentru aceasta, a trimis colaboratori la specializare în U.R.S.S. şi a înfiinţat în institut un sector de radiochimie.

Orientarea dată cercetării ştiinţifice din Institutul de chimie „P. Poni", de către prof. R. Cernătescu, este ca ea să slujească cît mai deplin rezolvării problemelor concrete puse de practica construirii socialismului în patria noastră.

Contribuţia covîrşitoare, adusă de omul de ştiinţă Radu Cernătescu pentru dezvoltarea chimiei, i-a asigurat consacrarea internaţională de care ne mîndrim cu toţii.

Paralel cu munca rodnică şi neobosită, desfăşurată pe tărîmul creaţiei ştiinţifice, în decursul celor 4 decenii, prof. R. Cernătescu a format, pe lîngă generaţii de studenţi, ca profesor al Universităţii din Iaşi, şi o pleiadă de valoroşi cercetători. Sub directa îndrumare a savantului Radu Cernătescu, ei au creat şcoala de chimie de la Iaşi, în care s-au format nu numai buni chimişti, dar şi cetăţeni conştienţi, deoarece prof. R. Cernătescu a ştiut să se apropie de colaboratorii tineri, să le insufle nu numai interesul pentru ceea ce este nou în ştiinţă, dar să le formeze şi înalte calităţi morale.

Continuator al tradiţiilor şcolii de chimie din Iaşi, prin prodigioasa sa activitate de îndrumător în cele mai noi domenii ale chimiei, şi în orientarea dezvoltării ştiinţei către rezultate care să determine creşterea şi îmbogăţirea vieţii, a imprimat chimiei româneşti, în ultimele decenii, personalitatea sa.

Sub aspect social-politic, prof. R. Cernătescu a fost un propagandist şi un militant al ideilor progresiste. A avut legături cu mişcarea muncitorească încă de la crearea în România a partidului marxist-leninist, al cărui membru devotat a rămas toată viaţa. El nu şi-a ascuns convingerile sale, manifestîndu-şi-le prin atitudini publice chiar în timpul ilegalităţii. Atunci a fost membru al Comitetului „Maxim Gorki", al „Blocului muncitoresc-ţărănesc", al „Comitetului antifascist din Iaşi", al „Asociaţiei Amicilor U.R.S.S..".

Numele lui este legat de numeroase acţiuni din ilegalitate ale P.C.R I s-au încredinţat spre păstrare documente ale partidului, a ajutat efectiv munca ilegală prin cunoştinţele sale ştiinţifice şi a executat însărcinări tehnice.

Atitudinea lui, curajul civic, l-a determinat să semneze uneori şi declaraţii de protest contra terorii regimului burghezo-moşieresc, să fie martor al apărării în procesele comuniştilor, să ajute materialiceşte pe tovarăşii căzuţi în mîinile siguranţei sau justiţiei burghezo-moşiereşti. În laboratorul lui s-au ţinut şedinţe ale P.C.R. în ilegalitate.

În perioada legionară şi a dictaturii antonesciene, prof. R. Cernătescu are de suferit multe umilinţe şi persecuţii. Este scos de legionari de la

suplinirea catedrei de chimie fizică şi analitică a Politehnicii „Gh. Asachi" este ameninţat şi trecut pe „lista neagră", fiind nevoit să se ascundă şi să trăiască zile de totală nesiguranţă. Cu toate acestea, rămîne consecvent credinţelor sale.

Marele act istoric al eliberării patriei noastre, îl găseşte pe prof. R. Cernătescu la Zlatna, unde întîmpină cu entuziasm trupele sovietice.

Deşi cu sănătatea şubredă, el are suficiente resurse pentru a se situa în fruntea intelectualilor ieşeni, care îşi dedică toate forţele pentru traducerea în viaţă a sarcinilor trasate de P.C.R. şi guvernul democrat al ţării.

Idealurile de dreptate socială, pentru care a militat şi luptat atît de mult prof. R. Cernătescu, prind viaţă. Realizările regimului democrat, cărora le-a fost modest părtaş, ca om de partid, ca deputat, ca profesor, ca om de ştiinţă, îi dau depline satisfacţii.

Mare admirator al U.R.S.S., el se bucură din plin de succesele ei şi al celorlalte ţări socialiste pe tărîm intern şi internaţional, de prietenia care se cimentează an de an între ţara noastră şi marea vecină de la răsărit.

Ca om politic, Acad. R. Cernătescu, a fost întreaga sa viaţă credincios marxism-leninismului, soldat devotat al avangărzii clasei muncitoare.

Nu se poate încheia această succintă prezentare a personalităţii Acad. R. Cernătescu, fără a reţine cîteva trăsături care conturează sensibilitatea sufletească, dragostea lui în special pentru muzică şi pentru frumuseţele naturii. Cînta la pian ca un artist, cunoştea şi iubea munţii Moldovei ca nimeni altul. Deşi cu sănătatea zdruncinată, grav bolnav, în ultimul an a vieţii sale s-a dus să revadă munţii Neamţului. Lectura, muzica, excursiile îi ofereau rare satisfacţii.

Cu mare durere s-au despărţit de dînsul studenţii, colegii, foştii elevi, toţi care l-au cunoscut şi preţuit pe prof. R. Cernătescu.

Amintirea lui a rămas puternică, exemplul vieţii lui îndemn. Moştenirea ştiinţifică pe care a lăsat-o se valorifică, multe din ideile lui prind viaţă prin elevii săi. Numele lui Radu Cernătescu reprezintă pentru întregul nostru popor un simbol al Şcolii de Chimie ieşene. Nu poate fi un omagiu mai profund pentru memoria acestui mare chimist român, decît acela ca în condiţiile noi create de dezvoltarea ştiinţei şi culturii patriei noastre, să nu precupeţim nici un efort pentru a ridica cercetările de chimie pe noi culmi, pentru a le lega cît mai organic de nevoile construirii socialismului.

Prof. Radu Cernătescu a indicat cu clarviziune drumul în viitor nu numai pentru chimiştii ieşeni, ci pentru toţi oamenii de ştiinţă patrioţi, devotaţi poporului.

Viaţa sa plină de muncă neobosită, dîrză şi plină de energie creatoare, rămîne pildă vrednică de urmat pentru toţi.

Nouă, celor care lucrăm zi de zi în Institutul de chimie „P. Poni", la a cărei creare prof. R. Cernătescu a dăruit mult din fiinţa sa, ne revine marea datorie de a urma neabătut drumul trasat de el, să contribuim din toate puterile noastre pentru continuarea şi ducerea pe culmi tot mai înalte a operei sale, pentru îndeplinirea marei sale dorinţe, care trebuie să fie şi dorinţa noastră : — dezvoltarea cît mai puternică a cercetării chimice la Iaşi şi în patria noastră.

ACTIVITATEA ȘTIINȚIFICĂ A ACADEMICIANULUI RADU CERNĂTESCU

ION POPESCU – Inst. P. Poni, Iași

Numit în 1925 conferențiar suplinitor la catedra de chimie analitică nou înființată, apoi definitiv în 1928, iar prin ridicarea la rangul de catedră numit agregat în iunie 1932 și titular în 1936, conferențiarul apoi profesorul Radu Cernătescu are deschisă calea pentru desfășurarea activității spre care vocația îl chema.

Format la școala de chimie și fizică de la Universitatea din Iași, avînd profesori pe Petru Bogdan, Anastase Obregea, N. Costăchescu, Alex. Miller, E. Niculce și cu un specific caracterizat prin inteligență și dorința de a cunoaște cît mai mult, studentul, doctorandul, conferențiarul Radu Cernătescu acumulează și asimilează un material bogat și selectat informativ pe care l-a folosit pentru prelegerile de chimie analitică ținute în cadrul cursului, pentru cercetare, pentru îndrumarea studenților, doctoranzilor care își desăvîrșeau formarea științifică sub conducerea lui.

Lecțiile de chimie analitică pe care am avut prilejul să le audiez, se caracterizau prin bogăția informației, exactitate în conținutul științific corespunzător, claritate. Ele atingeau un scop multiplu : verificarea, fixarea și aplicarea noțiunilor primite prin alte discipline (matematică, fizică, chimie anorganică, chimie organică, chimie fizică), raționalizarea și sistematizarea materialului informativ pentru utilizarea lui în domeniul chimiei analitice, clarificarea și asimilarea noțiunilor noi.

În dorința de a veni în sprijinul studenților, redactează și litografiază cursul de chimie analitică în trei volume. Autorul introduce în curs noțiunile relativ noi la acea epocă : de exponent de hidrogen (PH), soluții echilibrate-tampoane, factor de tamponare, estimarea colorimetrică a pH-ului, determinarea potențiometrică a concentrației ionilor, teoria indicatorilor, forță ionică, produs ionic, produs de solubilitate etc., etc., noțiuni care încă nu deveniseră clasice în literatura didactică universitară de specialitate. Cursul a fost deosebit de valoros prin originalitate corespunzătoare problemei pe care o urmărește.

Seminarele ținute în cadrul cursului de chimie analitică aveau caracterul de discuții în care se lămureau legi, se verificau interpretări, se fixau termeni și semnificații. Toate acestea se datorau bogatei informații multilaterale, caracterului profund uman al profesorului, care îl făcea să se socotească apropiat studenților. Cu toate că prezența la cursuri cît și seminarii nu era controlată, sala în care se țineau seminariile era totdeauna populată nu numai cu studenții anului respectiv, ci și cu studenți din alți ani care veneau să-și completeze și clarifice unele noțiuni care la acea epocă din lipsa unei literaturi științifice în limba română, se făcea numai din cursuri în limbi străine greu de procurat.

Pregătirea lui în domeniul chimiei fizice (trecuse examenul de docență pentru chimia fizică în1924, suplinise de multe ori pe profesorul P. Bogdan, ținuse examene cu studenți pentru unele capitole din chimia fizică) și pasiunea din anii doctoratului și de mai tîrziu pentru această disciplină, îl fac să accepte numirea la 1 decembrie 1938 ca profesor la catedra de chimie fizică și analitică la Politehnica „Gh. Asachi" nou înființată.

În 1940 este chemat la catedra de chimie anorganică de la Universitate, catedră rămasă vacantă prin decesul profesorului N. Costăchescu

și pe care a ilustrat-o pînă la încetarea din viață în ianuarie 1958. Începutul activității la această catedră a coincis cu epoca de instabilitate politică internă, provocată de o eclipsă a filozofiei social-politice din Europa, care a promovat la conducerea țării, guvernul legionar. Ca urmare a vederilor sale umanitare progresiste, profesorul Cernătescu a avut de suferit umiliri, persecuții, amenințări. Cu toată această situație vitregă, el nu și-a întrerupt activitatea didactică și de cercetare.

În perioada 1944—45, cînd Universitatea a fost evacuată și activitatea didactică și de cercetare practic întreruptă, el își sistematizează și completează conținutul cursului de chimie anorganică pe care-l litografiază la revenirea în Iași a Universității în litografia Institutului politehnic Iași, sub titlul „Tratat elementar de chimie anorganică" în trei volume (1948—51), în colaborare cu Margareta Poni.

În cuprinsul tratatului elementar de chimie anorganică, datorită formației științifice inițiale, autorul rezervă primul volum problemelor de chimie fizică contingente problemelor de chimie anorganică. Volumele II și III cuprind datele referitoare la toate elementele cunoscute la acea epocă. Însuși titlul lucrării arată că nu este vorba de un curs, ci de o carte de consult și informare necesară tuturor celor ce lucrează fie pe tărîm didactic, fie în cercetare.

Lecțiile ținute de profesorul Cernătescu în cadrul cursului în afară de calitățile didactice — claritate, rigurozitate științifică, bogăție de conținut informativ, erau dublate de însuflețire și pasiune. Cei ce l-au audiat au păstrat amintirea unor prelegeri în care faptele comunicate se legau armonios, dozate, colorate cu nuanțele cerute de gradația importanței la care se adăuga bogăția de idei.

Entuziasmul și pasiunea pentru diferite probleme de știință, l-a îndemnat să organizeze cu colegii și alți specialiști din alte domenii, cercuri de studiu în ședințele cărora se prezentau referate asupra unor subiecte de actualitate și chiar comunicări originale. La ședințele cercului participau pe lîngă chimiști, fizicieni, naturaliști, medici, farmaciști — s-a creat astfel un climat prielnic formării științifice care a declanșat interesul pentru cercetarea chimică aplicată în alte discipline.

Competența, pasiunea pentru cercetarea chimică și fizico-chimică, căldura cu care ataca diferitele probleme fie în discuții, fie lucrînd, a polarizat în jurul lui o serie de tineri absolvenți ai universității, secția chimie, care sub îndrumarea, inițierea și exemplul lui și-au completat formația științifică în domeniul chimiei, prin doctorat. A condus 10 doctorate și 5 aspiranturi, echivalate prin noua lege cu doctoratul, ai căror titulari ocupă astăzi posturi didactice sau au devenit cercetători valoroși. Citez cîteva nume de doctori care și-au pregătit teza sub conducerea profesorului Cernătescu : Eugenia Siegler, Margareta Poni, Mariana Papafil, Eugen Papafil, Adrian Mayer, Radu Ralea, Eliza Văscăuțeanu, I. Popescu, Florin Modreanu, Simon Fișel, Iulian Gabe, Aglaia Ciobanu, Maria Radu etc.

Activitatea de cercetare și creare de valori științifice.

Mobilitatea inteligenței și cultura vastă în specialitate îl purta continuu spre domenii variate ceea ce explică aspectul multilateral al cercetării științifice întreprinse. Din cele 79 lucrări originale elaborate, 8 sînt în domeniul chimiei fizice.

„Legea lui Dalton aplicată soluțiilor concentrate" pe care o prezintă în 1920 ca teză pentru obținerea titlului de doctor.

Prin analogia făcută de Van't Hoff între soluții și gaze, concretizată în legea presiunii osmotice, se punea problema generalizării legii lui Dalton de la gaze la soluții. Doctorandul R. Cernătescu studiază crioscopic 27 de sisteme de soluții : tartrat de metil, clorură de sulfuril în benzen, resorcină acetonă în apă, hidrochinonă acetonă în apă, piridină anilină apă etc., pentru care determină abaterile de la legea aditivității a lui Dalton. Se conchide că legea lui Dalton se aplică pentru soluții diluate. Pentru soluții concentrate se disting 4 cazuri : abateri pozitive în care valoarea depresiunii punctului de congelare a amestecului este superioară sumei depresiunilor parțiale, abateri negative, abateri cu valori schimbătoare după concentrații și abateri zero. Primul caz cuprinde cuplele de corpuri insolubile reciproce. Corpurile solubile pot prezenta toate cele patru cazuri. Se ajunge la concluzia că singura teorie a lui Van der Waals prevede existența tuturor cazurilor găsite. Autorul găsește o nouă formulă care dă scăderea punctului de congelare pentru amestecuri, dedusă din formula Nernst modificată de P. Bogdan.

„Pilele d-lui Vasilescu Karpen și teoria lui Nernst" în colaborare cu Th. Ionescu, este o lucrare de polemică științifică în care se atrage atenția asupra unei erori de raționament intervenită într-o lucrarea a lui Vasilescu Karpen relativ la unele pile speciale electrochimice despre care autorul afirmă că contrazic principiul al doilea al termodinamicei.

„Potențialul metalelor în lichide pure" în colaborare cu Eugenia Siegler. O problemă mult desbătută la acea epocă deoarece unele rezultate păreau contradictorii. Autorii stabilesc invariabilitatea șirului potențialelor metalelor față de lichid, independența față de dizolvant a forței electromotoare, existența unui paralelism între potențialul metalului cufundat în lichid și constanta dielectrică a acestuia, raportul tensiunilor de disolvare a unui metal în două lichide este egal cu coeficientul de repartiție a ionului metalic între lichide. S-au studiat potențialele metalelor Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, Ag, Al, în lichidele chinolină, glicerină, toluidină, anilină, nitroetan, alcool propilic, apă.

„Despre influența sărurilor asupra solubilității apei în fenol" în colaborare cu Eugen Papafil, o suită de trei lucrări în care se stabilește variația solubilității apei în fenol în prezența electroliților, precizîndu-se scăderea solubilității în prezența halogenurilor și sulfocianurilor alcaline, indicîndu-se influența specifică a anionilor și cationilor. Pentru cationi gradația corespunde șirului Li, Na, Ca, K, NH_4, Rb, Cs iar pentru anioni șirul Cl, Br, I, F, SCN.

„Contribuții asupra cunoașterii arseniților alcalini" în colaborare cu A. Mayer. Deoarece asupra constituției arseniților alcalini exista la acea epocă dubiu, autorii stabilesc existența numai a metaarseniților la neutralizarea acidului arsenios cu hidroxid alcalin. Din compararea conductibilităților amestecurilor de hidroxid și acid arsenios, cu aceea a soluției de metaarsenit se conchide monobazicitatea acidului arsenios. Se determină constanta de hidroliză a metaarseniților de natriu și potasiu și apoi constanta de disociație a acidului. Diferența conductibilității echivalente reale a amestecurilor echivalente de hidroxid de potasiu și acid arsenios pe de o parte și hidroxid de sodiu și acid arsenios pe de alta, este egală cu diferența mobilităților ionilor potasiu și sodiu, ceea ce dovedește existența în soluții a metaarseniților alcalini. Tot din valorile conductibilităților se atestă prezența în soluție și a dimetaarsenitului de potasiu. Pentru soluția de ortoarsenit de potasiu preparat în condiții speciale,

se găsește o conductibilitate deosebită de a amestecului de acid arsenios și hidroxid de potasiu în raport 1 : 3 care ar corespunde ortoarsenitului, ceea ce duce la concluzia formării în soluție numai a metaarseniților.

Am considerat mai în detaliu conținutul acestei lucrări pentru a arăta cum profesorul Radu Cernătescu, cunoscător al metodelor de investigație fizico-chimice, utiliza materialul informativ din datele experimentale în corelație cu arsenalul teoretic pentru dovedirea logică a anumitor fenomene.

„Absorbția selectivă la izomerii optic activi și la izomerii sterici cu activitate optică" în colaborare cu Eliza Văscăuțeanu. Problema separării izomerilor optici activi din amestecuri de antipozi a preocupat și preocupă încă pe cercetători datorită dificultăților de ordin experimental. Autorii utilizează adsorbția pe cărbune activ impregnant cu pinen (corp optic activ), constatînd selectivitate pentru amestecurile de antipozi ai acidului dextro-levo tartric, a chininei, a chinhidrinei.

În grupa lucrărilor de chimie fizică se situează și cele 15 lucrări în care se utilizează metoda polarografică fie pentru analiză, fie pentru stabilirea structurii etc. Aici voi menționa că metoda polarografică a fost introdusă în practica analitică pentru prima dată la noi în țară de Acad. Prof. R. Cernătescu. În colaborare cu Mg. Poni și R. Ralea s-au dat metode de dozare a mercurului și a altor metale în amestec. În colaborare cu R. Ralea s-a indicat o metodă pentru dozarea arsenicului trivalent. Cu Mg. Poni și R. Ralea, dozarea pirocatehinei singură și în amestec cu resorcina și hidrochinona, cu R. Ralea, Gh. Burlacu, M. Furnică, dozarea mercurului și fierului în minereuri, cu Mg. Poni și R. Ralea, dozarea argintului, nicotina amidei singură și în prezența acidului nicotinic, cu Mg. Poni, dozarea argintului în prezența Fe^{III}, Cu^{2+}, Cd^{2+}, Zn^{2+}.

Într-o lucrare în colaborare cu Mg. Poni, R. Ralea, I. Popescu se încearcă o sistematizare a potențialelor de separare a cationilor în soluția mixtă sare Seignette, amoniac, clorură de amoniu. Cu R. Ralea, Gh. Burlacu, M. Furnică, O. Boț și M. Radu, se dă metoda de separare pentru fier, cupru, plumb, cadmiu și zinc din minereuri complexe, din concentrate de plumb, zinc și cupru, prin care se vine în ajutorul laboratoarelor uzinale. Cu I. Popescu determină variația de sarcină în reducerea pe electrodul picurător a arsenicului trivalent în soluția complexă sare Siegnette — amoniac — clorură de amoniu. Cu I. Popescu, A. Ciobanu, M. Bostan utilizează metoda polarografică pentru determinarea indicelui de complexare.

Cele 12 lucrări din domeniul chimiei analitice pot fi grupate în : lucrări privind găsirea de reacții noi pentru identificarea fie a anionilor, fie a cationilor ca : o reacție nouă pentru acidul azotic, o reacție pentru tungstați, o reacție pentru vanadați, o reacție nouă pentru alcaloizi, reacția piperidinei și amoniacului cu violetul cristalizat.

Unele din aceste reacțiuni noi au fost exploatate și transformate în metoda de dozare a unor metale sau acizi. Astfel reacția dintre clorhidratul de diaminofenol și acidul azotic a fost transformată în metodă colorimetrică de dozare a ionului nitric, lucrare citată în tratate de analiză.

Metodele de dozare pentru cadmiu, potasiu și magneziu, cobalt, piridină.

Introducere de tehnici fizico-chimice în practica analitică. „Titraj potențiometric a bromului și bromaților.

Lucrări referitoare la combinații complexe în număr de 25.

Studiile au început cu sulfocianurile de argint pentru că a dovedit un indice de coordinare 6 (șase), superior cifrei cunoscute.

Studiază în colaborare cu Mg. Poni condițiile de formare a unei clase de sulfocianuri de mercur cu caracter acid cu care ocazie găsește o reacție pentru alcaloizi. Rezultate interesante a obținut la sinteza combinațiilor complexe ce se formează cu o-, m- și p- fenilendiamine, fenetidine, anisidine, toluidine, naftilendiamine, nicotine etc., stabilind influența poziției grupei amino din molecula bazei asupra proprietăților fizice a combinațiilor complexe, influența asupra indicelui de coordinație, a culorii, solubilității. Unele din aceste lucrări în colaborare au constituit subiectele de teză pentru obținerea titlului de doctor în chimie pentru colaboratori.

Studiile numeroase în acest domeniu și numărul mare de combinații sintetizate a permis adîncirea observațiilor asupra factorilor ce pot influența structura și proprietățile. Profesorul Cernătescu a extins studiul asupra capacității de complexare a acizilor dietil și difenilbarbituric, betaoxinaftoic, 5-nitrobarbituric.

În colaborare cu Mg. Poni arată că bazele organice cu azot în nucleul benzenic, naftalenic, pirolidinic, tropanic etc., formează complexe de forma bază ICl_3 cînd acestea sînt tratate cu HI și HCl, în soluții apoase sau cu un randament mai bun și puritate mai mare cînd se trece un curent de clor prin soluția bazei în prezență de iod în disolvent tetraclorură de carbon. Extrem de interesante, între proprietățile noilor compuși, sînt puterea bacteriostatică și bactericidă a acestor combinații. Pentru a stabilii influența naturii azotului din molecula reactantului, autorii au considerat un număr mare de baze organice pe care le-a supus condițiilor de reacție arătate cu care ocazie s-a constatat că numai bazele cu azot în nucleul benzoic, pirolic, fenazinic etc., formează complexe bază ICl_3. Au fost sintetizați compușii tricloriod-piridina, α-picolina, β-picolina, γ-lutidina, chinolina, lepidina, piperidina, nicotina, sparteina, pilocarpina, fenazina, naftochinona, oxichinolina, cloroxichinolina, hioscina, stricnina, acid chinolin sulfonic, acid nicotinic. S-a încercat reacția de formare a complexelor bază ICl_3 cu o serie de 43 alcaloizi și s-a constatat că o parte nu formează complexele amintite, o mare parte formează, iar unele dau reacțiuni speciale. Faptul cel mai important este că reacția de formare de complexe de tipul bază ICl_3, poate servi pentru identificarea naturii atomului de azot din molecula bazei. Acțiunea bacteriostatică și bactericidă a tricloriodpiridinei a fost studiată într-o suită de articole în colaborare cu un colectiv de medici. S-a obținut o nouă variantă a baccilului antracs și o nouă variantă a baccilului tuberculos. Lucrările privind sinteza compușilor bază ICl_3 datorită importanței lor au fost premiate cu premiul de stat.

În colaborare cu A. Mayer a determinat pH-ul lichidului cefalorahidian, cu I. Ornstein a făcut un studiu asupra calciului și sodiului din proteine, cu A. Mayer un studiu asupra conținutului de potasiu și calciu în sîngele de porumbel după rezecția și excitația electrică a nervilor aripii. Cu I. Ornstein microdozarea alcoolului din sînge și alte lichide biologice.

Lucrări privind stabilirea conținutului în componente a unor ape. Analiza izvoarelor de la Răducăneni. Analiza apelor unor limanuri și lacuri de pe litoral, analiza apelor pîrîului Bahlui, analiza cîtorva ape curgătoare din Moldova.

Lucrări ocazionate de fenomene naturale neobișnuite. Analiza pulberii căzută în Iași la 28 aprilie 1928. Analiza pulberii căzută în Iași la 15 și 16 februarie 1929, în colaborare cu Mg. Poni.

În afară de lucrările publicate, profesorul Cernătescu a efectuat multe analize cerute în rezolvarea unor probleme biologice urmărite în diferite clinici din Iași.

Vasta activitate desfășurată în decursul a patru decenii arată marele orizont științific al Acad. Prof. Radu Cernătescu, iar probitatea în cercetare i-a asigurat consacrarea internațională de care noi ne mîndrim.

Exemplul corectitudinii, consecvenței în comportare, perseverenței în muncă rămîne un ideal de atins, pentru oamenii de știință.

CAUCIUCUL SINTETIC

M. STOICA — Liceul nr. 1 Alexandria

Dezvoltarea industriei automobilismului, a mașinilor agricole purtate pe pneuri de cauciuc precum și dezvoltarea industriilor consumatoare de cauciuc vulcanizat și chiar nevulcanizat a făcut ca latexul natural al arborelui de cauciuc să nu mai fie suficient. O sursă nouă trebuia căutată : „sinteza".

A fost cercetată macromolecula cauciucului natural, la bază stînd teoria structurii compușilor macromoleculari.

Încă din prima jumătate a secolului XIX-lea se dovedise o înrudire între cauciuc și molecula de izopren

$$(C_5H_8)\,n \quad CH_2 = \underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle |}{C}} - CH = CH_2$$

(2 metilbutadienă, 2 metildivinilul), care s-a obținut prin distilarea uscată, lentă a cauciucului natural. În 1860 G. Williams descompune macromolecula de cauciuc la 300° punînd în libertate izoprenul. Se fundamentează astfel ideia că macromolecula de cauciuc este poliizoprenică cu catenă lungă și caracter nesaturat.

Izoprenul era deci cărămida de construcție de la care trebuie să se pornească pentru a se fabrica sintetic cauciucul. Chimiștii au căutat soluția transformării monomerului izopren în macromoleculă. Începuturi destul de modeste sînt înscrise în istoricul cauciucului sintetic încă din anul 1879, cînd chimistul francez G. Bouchard obține în cantitate mică o substanță asemănătoare cu laptele de cauciuc lăsînd să acționeze asupra izoprenului, timp de 15—20 zile, acid clorhidric concentrat.

În 1892 englezul V. Tilden confirmă prin experiență lucrările și concluziile lui G. Bouchard. Era însă numai un început modest care făcea afirmații mari și anume acela că de la izopren s-ar putea ajunge la cauciuc sintetic.

Industrializarea cauciucului poliizoprenic este realizată numai în 1922 cînd Staudinger reușește să facă o polimerizare controlată a izoprenului.

— În 1892 A.E. Favorski își susține teza de magister în care prezintă și transformările suferite de hidrocarburile nesaturate sub influența căldurii și a catalizatorilor. Etilacetilena (etiletina) la 170° și sub acțiunea unei soluții de hidroxid de sodiu în alcool, se transformă în dimetil acetilenă $CH_3 - C \equiv C - CH_3$. Continuîndu-și lucrările, din alcool etilic sub formă de vapori în prezența unui catalizator complex format din oxid de zinc și oxid de aluminiu, la 425° C, obține butadiena.

$$2\,CH_3 - CH_2 - OH \xrightarrow[ZnO.Al_2O_3]{425^\circ} CH_2 = CH - CH = CH_2 + 2H_2O + H_2$$

Butadiena, avînd structură asemănătoare cu a izoprenului, duce, prin procese de polimerizare, la un produs asemănător cauciucului natural. Cauciucul obținut pe această cale solicita ca materie primă cartofi și cereale ce trebuiau transformate în alcool etilic, deci industria cauciucului nu se găsea pe un drum bun.

În 1901 Kondacov obține un alt monomer hexadiena $CH_2 = C - C = CH_2$ a cărui macromoleculă a dus, prin vulcanizare la
$\quad\quad\quad

El prezintă calități superioare în ceeace privește rezistența la ozon. Cu siliciu se pot obține și macromolecule fluide folosite ca lubrefiant.

Macromolecula cauciucului sintetic s-a realizat pe principiul polimerizării butadinei (alcadienelor) precum și pe principiul polimerizării produșilor vinilici, acrilici și alții, astfel:

După schema de polimerizare a butadinei prin deplasarea și împuținarea dublelor legături

$$CH_2 = CH - CH = CH_2 \rightarrow - CH_2 - CH = CH - CH_2 -$$

Totodată prin apariția valențelor marginale s-a realizat posibilitatea de contopire a merilor, ducînd la apariția macromoleculelor. Structura întîlnită la cauciucurile: polibutadienice, polihexadienice, poliizoprenic și policloroprenice rămîne de macromoleculă nesaturată.

La macromoleculele de copolimerizare se împletesc două principii; la monomerul dienic cel specific dienelor structura rămînînd nesaturată, iar la monomerul vinilic structura saturîndu-se astfel:

$$CH_2 = CH - CH = CH_2 + CH_2 = \underset{\displaystyle C_6H_5}{\overset{\displaystyle H}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}} + CH_2 = CH - CH = CH_2 \rightarrow$$

$$- CH_2 - CH = CH - CH_2 - CH_2 - \underset{\displaystyle C_6H_5}{\overset{\displaystyle H}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}} - CH_2 - CH = CH - CH_2 -$$

structură ce se întîlnește și la cauciucurile butadien stiren, butadien alfa metil stiren și butadien acrilonitril.

Procesul de polimerizare, cunoscut și prezentat destul de schematic în exemplificările curente se desfășoară în realitate după un mecanism și o cinetică moleculară, în mai multe faze:

—. Inițierea lanțului, creșterea lanțului, întreruperea lanțului.

a). — Inițierea lanțului este o reacție în care monomerul trece într-o stare activă (este o activare) ce poate declanșa reacția de polimerizare. Această reacție de inițiere necesită, pentru ruperea dublei legături, energie calorică, lumină, promotorii etc.

Pentru micșorarea reacției de activare se folosesc inhibitori, stopări. Ca inhibitori sînt cunoscuți: chinone, fenoli, amine aromatice, ce se folosesc și în timpul transportului sau depozitării monomerului pentru a împiedica reacția de polimerizare.

Inhibitorii se caracterizează prin aceia că provoacă perioada de inducție cînd nu are loc polimerizarea și formează cu centri activi substanțe stabile, consumîndu-se treptat.

b) Reacția de creșterea lanțului duce la formarea macroradicalului. Ea reprezintă adiția monomerului la capetele centrului activ, lanțul crescînd normal, conform schemei;

$$- CH_2 - \underset{\displaystyle R}{\overset{|}{CH}} - + CH_2 = CH \rightarrow - CH_2 - \underset{\displaystyle R}{\overset{|}{CH}} - CH_2 - \underset{\displaystyle R}{\overset{|}{CH}} -$$

$$- CH_2 - \underset{\displaystyle R}{\overset{|}{CH}} - CH_2 - \underset{\displaystyle R}{\overset{|}{CH}} - + CH_2 = CH \rightarrow - CH_2 - \underset{\displaystyle R}{\overset{|}{CH}} - CH_2 - \underset{\displaystyle R}{\overset{|}{CH}} - CH_2 - \underset{\displaystyle R}{\overset{|}{CH}} -$$

c). — Reacția de întrerupere a lanțului duce la inactivizarea polimerilor activi (a polimerilor radicali). Reacția de întrerupere se explică prin faptul că are loc dispersarea energiei proprii radicalului polimer în creștere, (macroradicalului), acesta devenind inactiv.

O altă cauză a întreruperii reacțiilor o constituie reacția de transfer, cînd lanțul crește, se lovește de un lanț polimer inactiv transmițîndu-i caracterul său inactiv. Această reacție de întrerupere și reacție de transfer este produsă prin ciocnirea lanțului în creștere de pereții vasului de reacție (de aici necesitatea de a poliza suprafața interioară a vasului de reacție. ae

Pentru a împiedica reacția de transfer se folosesc modificatori, (regulatori) care mai au și rolul de a împiedica ramificarea catenelor, rezultînd polimeri cu structură uniformă.

În afară de polimerizarea radicalilor este cunoscută și polimerizarea ionică care are loc prin transmiterea de-a lungul lanțului a unui electron neîmperecheat. Polimerizarea ionică decurge prin formarea fie a unui ion carboniu, fie a unui carbanion, cu transmiterea ulterioară de-a lungul lanțului fie a sarcinei electrice pozitive fie a celei negative. În funcție de caracterul catalizatorului și în concordanță cu sarcina ionului ce se formează se deosebește polimerizarea cationică de cea anionică.

1). Polimerizarea cationică, decurge deobicei în prezența acizilor și catalizatorilor Friedel — Crafts : $AlCl_3$, BF_3, $TiCl_4$,$SnCl_4$ .Acești catalizatori sînt acceptori de electroni și după adiția monomerului formează ionului carboniu.

Schematic acest proces poate fi prezentat în felul următor;

$$2\,CH_2 = \underset{\underset{R}{|}}{CH} + HX \rightarrow CH_3 - \underset{\underset{R}{|}}{CH} - CH_2 - \underset{\underset{R}{|}}{CH^+} + X^-$$

Interacțiunea ulterioară a ionului de carboniu format cu moleculele de monomeri reprezintă o reacție de creștere a lanțului, iar lanțul însuși în creștere continuă un cation cu masă moleculară care crește continuu în procesul de reacție.

Reacția de creștere a lanțului este însoțită de transmiterea de-a lungul lanțului a sarcinilor pozitive.

Întreruperea lanțului este legată de eliminarea unui proton. Apariția centrului activ în cadrul polimerizării cationice este legată de pierderea unui electron de la un atom de carbon cu formarea unui ion de carboniu.

În urma ciocnirii capetelor contrarii a ionului la creștere se produce ruperea macromoleculară a lanțului cu eliminarea catalizatorului și apariția dublei legături la unul din capetele macromoleculei, iar catalizatorul se recuperează.

2).— Polimerizarea anionică. Catalizatorii pentru polimerizarea anionică sînt metalele alcaline, compușii organo-metalici, oxizii metalelor polivalente, adică reactivi donatori de electroni. În urma interacțiunii catalizatorului cu monomerul se formează un „carbanion". Formarea carbanionului prin interacțiunea cu compusul organo-metalic sau alcalin se poate reprezenta în felul următor :

$$CH_2 = \underset{\underset{R}{|}}{CH} + MeR \xrightarrow[KNH_2]{Na\ NH_2} R' - CH_2 - \underset{\underset{R}{|}}{CH^-} + Me^+$$

În procesul de creștere a lanțului are loc transmiterea de-a lungul lanțului a sarcinilor electrice negative. Întreruperea lanțului se datorește probabil eliminării unui electron.

Particularitatea polimerizării ionice o constituie viteza mare de reacție la temperaturi joase, ceea ce este determinat de o energie mică de activare a procesului de formare a centrelor active.

Polimerizarea ionică se efectuează în soluție în unele cazuri la temperaturi de la 50° — 130°.

Polimerizarea în prezența metalelor alcaline este cunoscută de mai mult timp. A fost utilizată de S. V. Lebedev în primul procedeu industrial de obținere a cauciucului sintetic. O.A. Reutov propune următorul mecanism de polimerizare a stirenului sub influența sodiului metalic. După schema sa primul stadiu al reacției îl constituie adiția a doi atomi de sodiu la dubla legătură a monomerului.

$$CH_2 = \underset{\displaystyle R}{CH} + 2\ Na \rightarrow - \underset{\displaystyle Na}{\overset{\displaystyle R}{CH}} - \underset{\displaystyle Na}{CH_2}$$

La formarea compusului disodat al monomerului cea mai mare densitate electronică este concentrată la atomul de carbon al grupei metilenice, la care se adiționează grupa metilenică a următoarelor molecule la creșterea lanțului, astfel;

$$- \underset{\displaystyle Na}{\overset{\displaystyle R}{CH}} - \underset{\displaystyle Na}{CH_2} + CH_2 = \underset{\displaystyle R}{CH} \rightarrow - \underset{\displaystyle Na}{\overset{\displaystyle R}{CH}} - CH_2 - CH_2 - \underset{\displaystyle Na}{\overset{\displaystyle R}{CH}} -$$

În continuare grupele metilenice a altui monomer se adiționează la grupele metilenice ale compusului sodat astfel încît lanțul poate crește în ambele direcții.

Cercetînd inițierea și creșterea lanțului în procesele de polimerizare la produșii alcadienici Schlenk și Bergman au propus formarea combinației

$$Na - CH_2 - CH = CH - CH_2 -$$

exemplificată la butadienă, care apoi după părerea lor, provoacă polimerizarea prin mecanism radicalic.

Ziegler a fost primul care a arătat adevărata natură a speciei active pe molecula alcadienelor și care poate fi prezentată în felul următor;

a). — la butadienă

$$Na^+ - CH_2^- - CH = CH - CH_2^- - Na^+$$

Formarea acestei combinații se realizează prin transferul de electroni de la sodiu la butadienă după următoarea schemă;

$$CH_2 = CH - CH = CH_2 + 2\ Na \rightarrow Na^+ - CH_2^- - CH = CH - CH_2^- - Na^+$$

b) — la pentadienă

În aceleași condiții se realizează prin transfer de electroni de la litiu la izopren (2 metil butadienă) modelul schemei fiind următorul:

$$2\ Li + CH_2 = \underset{\displaystyle CH_3}{C} - CH = CH_2 \rightarrow Li^+ - CH_2^- - \underset{\displaystyle CH_3}{C} = CH - CH_2^- - Li^+$$

Abkin și Medvedev au confirmat acest tip de mecanism polimerizînd butadiena cu sodiul metalic, extizîndu-l și la polimerizarea butadienei cu 2 fenil, — izopropil — litiu.

Creșterea catenei care derivă din centri activi radicali ionici se realizează uneori cap cap, iar altcori cap coadă.

Polimerizarea cu sodiul metalic a fost aplicată în Germania pe scară întinsă în practica industrială la butadienă cînd s-a obținut cauciucul butadiennatrium „buna" și se realizează practic introducînd sodiul sub formă de sîrme subțiri în butadienă lichidă, sau sîrme de fier înmuiate în sodiu topit în butadienă lichidă.

În industria de fabricare și prelucrare a cauciucului sintetic se cunosc patru mari operațiuni;

— obținerea merilor

— polimerizarea sau copolimerizarea pentru obținerea macromoleculei.

— vulcanizarea cauciucului brut,

— transformarea lui în bunurile de larg consum.

Primele începuturi de a se obține, prin sinteză, un polimer cu însușirile cauciucului au început de la izopren a cărui înrudire cu cauciucul natural era cunoscută în 1860 (G. Williams).

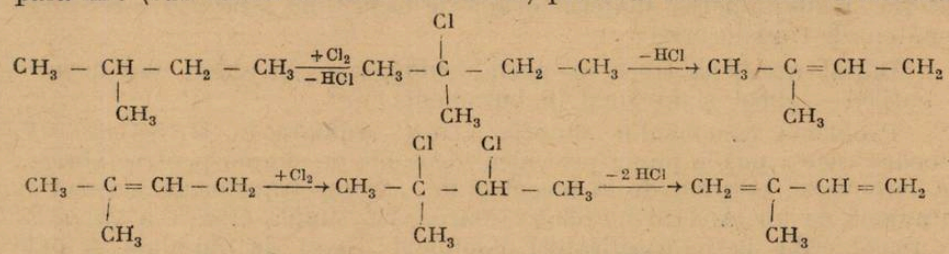
O cercetare sistematică a polimerizării izoprenului a fost începută însă abia în 1909 de F. Hofmann care a realizat polimerizare izoprenului prin încălzire și de C. Harries, care a folosit pentru aceasta acid acetic.

Polimerizarea reușește deosebit de bine cu sodiul metalic (F.E. Mattews și H.E. Strange). La o fabricație tehnică nu s-a putut trece la acea epocă din cauza imposibilității de a se obține izopren pe scară industrială.

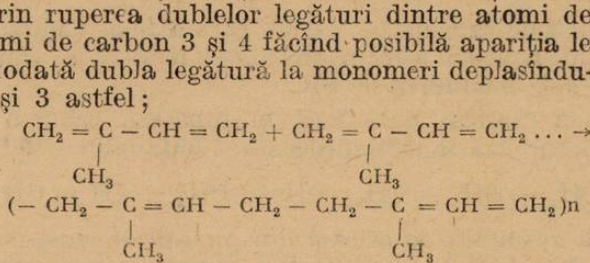
Astăzi se cunosc mai multe căi pentru fabricarea pe cale sintetică a cauciucului.

A. — Cauciuc poliizoprenic

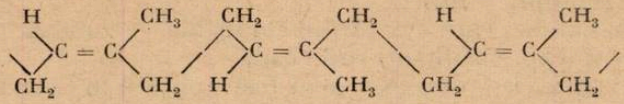
Inițial izoprenul folosit ca monomer a fost obținut din petrol prin substituție cu clorul și apoi prin înlăturarea acestuia din produsul clorurat parafinic (sub formă de acid clorhidric) procesul chimic fiind următorul:



Izoprenul astfel obținut (2 metil butadiena, 2 metil divinilul) a polimerizat prin ruperea dublelor legături dintre atomi de carbon 1 și 2 precum și atomi de carbon 3 și 4 făcînd posibilă apariția legăturilor libere marginale, totodată dubla legătură la monomeri deplasîndu-se între atomi de carbon 2 și 3 astfel;



Important este de discutat macromolecula poliizoprenică care are structură geometrică în poziție „cis"

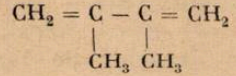


În realitate macromolecula poliizoprenică are forma unei spirale neregulate sau a unor ghemuri, structură care îi oferă elasticitate, clasificînd cauciucul ca un elastomer. La întindere macromoleculele se orientează paralel.

Rotațiile libere în jurul legăturilor simple C — C îi oferă flexibilitatea. Macromolecula are un număr redus de duble legături și a fost folosit sub denumirea de cauciuc poliizoprenic.

B. — Cauciuc polihexadienic

În 1901 Kondakov în URSS obține un alt polimer asemănător cauciucului natural, monomerul fiind hexadiena.



2,3 dimetil butadiena (hexadiena) a dus prin polimerizare la obținerea unui cauciuc inferior celui natural.

Vulcanizat însă cu un procent mare de sulf se obține o ebonită calitativ superioară.

C. — Cauciuc polibutadienic

În 1926 atît în Germania cît și în URSS se lucrează un alt cauciuc sintetic „polibutadiena" materia primă de bază fiind acetilena care suferă următoarele transformări:

Inițial acetilena trece în acetaldehidă, apoi în aldol, mai departe în butilen — glicol și în final în butadienă.

Problema cauciucului sintetic a fost studiată în URSS de S.V. Lebedev care a pus la punct procedeul deosebit de simplu pentru fabricarea butadienei pornind de la alcool etilic, care se transformă indirect în butadienă cu un randament relativ mare, prin simpla trecere a vaporilor de alcool etilic peste catalizatori complexi: oxid de aluminiu și oxid de zinc.

Prima uzină de cauciuc în URSS, care a folosit butadiena obținută prin procedeul lui Lebedev a intrat în funcție în 1932 iar cauciucul obținut a fost cunoscut sub denumirea de SK.

În 1940 s-a fabricat butadienă în America, printr-o metodă mult mai simplă, prin piroliza sau dehidrogenarea butanului astfel:

$$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_3 \rightarrow H_2 + CH_2 = CH - CH = CH_2$$

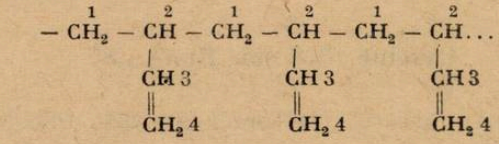
Butadiena rezultată pe oricare din procedeele cunoscute pînă astăzi suferă procese de polimerizare pe același principiu ca și izoprenul pe baza

dublelor legături, schema generală a procesului de polimerizare fiind următoarea:

$$nCH_2 = CH - CH = CH_2 + CH_2 = CH - CH = CH_2 \rightarrow$$

$$(- CH_2 - CH = CH - CH_2 - CH_2 - CH = CH - CH_2 - \ldots)n$$

În prezent butadiena este polimerizată radicalic în emulsie. Procesul radicalic de polimerizare, poate lega atît în poziție 1,4 cu formare de polimeri liniari cît și în poziție 1,2 cu formare de polimeri ramificați nesaturați pe ramificații, astfel:



Acest fapt a fost stabilit prin metoda degradării cu ozon. Polibutadiena are masă 80.000 — 450.000. Ea este solubilă în benzen precum și în derivați alchilați și halogenați ai acestuia vulcanizatele lui sînt relativ inferioare în același timp rigide.

Alte tipuri de cauciuc butadic

În Germania polimerul butadienei fabricat industrial a fost denumit „buna" de la principiul „butadien natrium". Polimerizarea cu sodiul metalic se realizează introducînd metalul sub formă de sîrme subțiri în butadienă lichidă. Polimerizarea începe lîngă metal și înaintează apoi în lichid. Totodată se produce, în apropierea sodiului o coloratie portocalie intensă.

Mecanismul reacției este probabil următorul: un atom de sodiu se adiționează unilateral la o moleculă de butadienă dînd naștere unui radical liber (probabil colorat). Aceasta reacționează cu alte molecule de butadienă inițiind un lanț de reacții după schema generală, cunoscută la polimerii derivaților vinilici:

$$Na + CH_2 = CH - CH = CH_2 \rightarrow Na - CH_2 - CH = CH - CH_2 -$$

$$Na - CH_2 - CH = CH - CH_2 - + CH_2 = CH - CH = CH_2 \rightarrow$$

$$Na - CH_2 - CH = CH - CH_2 - CH_2 - CH = CH - CH_2 - .$$

Polimerul butadienei fabricat în Germania cunoaște diverse calități comerciale, însemnate cu cifre și se deosebesc prin gradul lor de polimerizare astfel;

a).— Buna 32 este lichid vîscos de consistența mierei

b).— Buna 85 este lichid dar își schimbă ușor forma

c).— Buna 115 este un material solid și dur cu formă invariabilă.

Polimerii butadienei de tipul „buna 115", nu sînt solubili și sînt mai puțin plastici decît cauciucul natural, de aceia pentru malaxarea lor între cilindri este necesar un consum de energie mult mai mare. Produsul se comportă ca un cauciuc foarte slab vulcanizat, ceea ce se explică prin legăturile covalente dintre macromolecule.

Prin vulcanizare, în special cînd aceasta se face în prezența negrului de fum, se obțin produși mai asemănători cu cauciucul natural vulcanizat. Elasticitatea este însă mică.

Buna 85 dă vulcanizate cu rezistență mecanică mai slabă iar buna 32 servește ca plasifiant.

Polimerizarea în emulsie a butadienei se descoperă mai tîrziu. Se obțin produși de calitate superioară și în plus prezintă avantaje tehnice.

Prin metoda polimerizării în emulsie nu s-au fabricat în mare, polimeri ai butadienei pure, ci numai copolimeri, obținuți prin copolimerizarea butadienei amestecată cu unii derivați vinilici.

Cauciuc SKS sau Buna „S"

Pentru obținerea acestui elastomer au fost folosiți ca monomeri; butadiena și stirenul.

Macromolecula rezultată este un produs de copolimerizare iar schema generală este cea cunoscută la alcadiene precum și la produși vinilici astfel:

$$CH_2 = CH - CH = CH_2 + CH_2 = \underset{\displaystyle C_6H_5}{\overset{\displaystyle H}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}} + CH_2 = CH - CH = CH_2 \ldots \rightarrow$$

$$(- CH_2 - CH = CH - CH_2 - CH_2 - \underset{\displaystyle C_6H_5}{\overset{|}{CH}} - CH_2 - CH = CH - CH_2 - \ldots)$$

Practica industrială îl cunoaște sub denumirea de cauciuc „butadien-stiren, buna S".

În procesul de copolimerizare se folosește 70% butadienă și 30% stiren.

Polimerizarea în soluție apoasă se face în prezența unor emulgatori (acizi grași, rășini).

Drept catalizatori se folosesc peroxizii organici, perborați, persulfiți. Din punct de vedere al temperaturii de obținere sînt două tipuri de cauciuc buna S.

— Butadien stiren, polimerizat la temperaturi ridicate.

— Butadien stiren polimerizat la rece, care prezintă caracteristici fizico-mecanice îmbunătățite (rezistent la uzură).

Cauciuc S.K.N. „Buna N" (Perbunan)

Acest tip de cauciuc are macromolecula rezultată tot în urma unui proces de copolimerizare.

Monomerii folosiți sînt butadiena (rezultată din butan) și acrilonitrilul (nitrilul acidului acrilic) ce se obține din acetilenă cu acid cianhidric astfel:

$$HC \equiv CH + H - C \equiv N \rightarrow CH_2 = \underset{\displaystyle C \equiv N}{\overset{|}{CH}}$$

și la acest tip de cauciuc se produce copolimerizare butadienică cu vinilică astfel;

$$CH_2 = CH - CH = CH_2 + CH_2 = \underset{\displaystyle C \equiv N}{\underset{|}{CH}} + CH_2 = CH - CH = CH_2 \ldots \rightarrow$$

$$(- CH_2 - CH = CH - CH_2 - CH_2 - \underset{\displaystyle CN}{\underset{|}{CH}} - CH_2 - CH = CH - CH_2 - \ldots)$$

Este o copolimerizare liniară alternantă iar cantitativ butadiena participă în proporție de 80% și nitrilul acrilic în proporție de 20%.

Cauciuc policloroprenic

În S.U.A. în 1929 prin lucrările lui W. H. Carothers, în uzinele Du-Pont de Nemours s-a obținut pe o cale deosebită de cele urmate în Europa și anume s-a întrebuințat ca monomer un produs clorurat al butadienei „cloroprenul" $CH_2 = \underset{\displaystyle Cl.}{\underset{|}{C}} - CH = CH_2$

cunoscut și sub denumirea de 2 clor butadienă, 2 clor divinil. Materia primă pentru fabricare cauciucului policloroprenic este acetilena obținută din gazul metan sau din acetilura de calciu. Aceasta prin polimerizare trece în vinil acetilenă:

$$HC \equiv CH + HC \equiv CH \rightarrow HC \equiv C - CH = CH_2$$

care prin adiția acidului clorhidric duce la obținerea monomerului

$$HC \equiv C - CH = CH_2 + HCl \rightarrow CH_2 = \underset{\displaystyle Cl.}{\underset{|}{C}} - CH = CH_2$$

Procesul de polimerizare al acestuia se conduce după schema generală a alcadienelor astfel:

$$CH_2 = \underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{C}} - CH = CH_2 + CH_2 = \underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{C}} - CH = CH_2 \ldots \rightarrow$$

$$(- CH_2 - \underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{C}} = CH - CH_2 - CH_2 - \underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{C}} = CH - CH_2 \ldots)n$$

Policloroprenul, este un cauciuc moale. Polimerizarea monomerului se face în emulsie iar produsul rezultat a luat denumirea industrială de „neopren". A fost industrializat și în URSS, sub de numirea de Sovpren. Acest produs este mult mai solubil în benzen în schimb insolubil în benzine, fapt care îi mărește importanța industrială.

Prin încălzirea neoprenului cu ZnO și MgO se obține un produs elastic și neplastic cu mare rezistență mecanică în totul comparabil cauciucului moale vulcanizat.

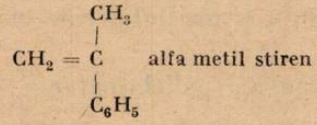
Vulcanizarea neoprenului cu sulf pentru a obține ebonita nu este posibilă.

Mecanizmul acestei vulcanizări nu este cunoscut; probabilare loc o continuare a polimerizării, cu formarea unei rețele tridimensionale, asemănătoare cu cauciucul natural vulcanizat. Negrul de fum are și în cazul

neoprenului un efect favorabil asupra însușirilor produsului vulcanizat. Aceasta are o foarte bună elasticitate și rezistență mecanică, aderă bine la pînză, este complect rezistent la oxidare chiar față de ozon și nu se îmbibă cu uleiuri minerale.

Cauciucul butadien alfa metil stiren.

Prin alchilarea stirenului s-a obținut un derivat alchilic al acestuia „metil stirenul



alfa metil stiren

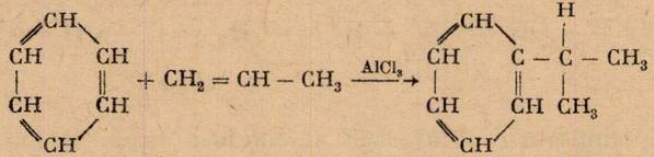
care în urma procesului de copolimerizare cu butadiena, a dus la o nouă macromoleculă „polibutadien alfa metil stiren".

Butadiena necesară se obține prin dehidrogenarea catalitică în pat fluidizat a butanului cînd inițial rezultă butenă apoi butadienă

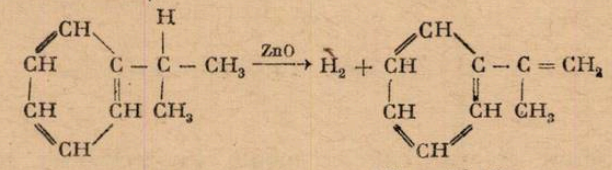
$$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_3 \xrightarrow{-H_2} CH_2 = CH - CH_2 - CH_2 \xrightarrow{-H_2}$$
$$CH_2 = CH - CH = CH_2$$

iar alfa metil stirenul se obține prin dehidrogenarea catalitică la izopropril benzenului (cumenul) și acesta la rîndul lui fiind obținut prin alchilarea benzenului cu propenă în prezența catalizatorilor Friedel Crafts ($AlCl_3$), astfel:

a).— Benzenul se alchilează cu propena cînd rezultă izopropil-benzen (cumenul)

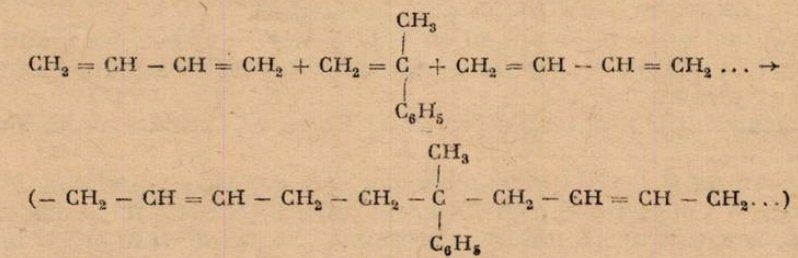


b) — Izopropil benzenul este dehidrogenat în prezența catalizatorului oxid de zinc astfel;



alfa metil stiren

Mecanismul procesului de copolimerizare între cei doi meri, unul alcadienic iar celălalt stirenic, se produce astfel:



Noua macromoleculă se fabrică la Combinatul Chimic din orașul Gheorghe Gheorghiu Dej și este denumit „Carom — 30 R". În procesul de polimerizare participă 70% butadienă și 30% metil stiren.

Pentru obținerea latexului de cauciuc sintetic, copolimerizarea între butadienă și alfa metil stiren se face în emulsie la rece (5° C) cînd apar două faze; faza gazoasă și faza hidrocarburi. În faza hidrocarburi se obțin butadiene și alfa metil stirenul, apoi faza gazoasă care conține emulgatori (săpun de colofoniu sau sare de potasiu a acizilor grași C_{10}, C_{16}).

Copolimerizarea se produce folosind:

— inițiator de polimerizare hidroxid de izopropil benzen

— sistem de activare redox

— regulator de catenă dodecilmercapten terțiar.

— stopăr sau întrerupător de catenă dimetilditiocarbonat de sodiu.

Polimerizarea se conduce după o conversie de 58 — 61%.

Monomerii nereacționați se separă prin degajarea latexului, după care aceștia se trimit la comprimare ca apoi să fie recirculați în copolimerizare.

Latexului obținut i se adaugă Neozon D după care se trimite la coagulare într-un sistem de vase în cascadă cu ajutorul clorurii de sodiu și a acidului sulfuric.

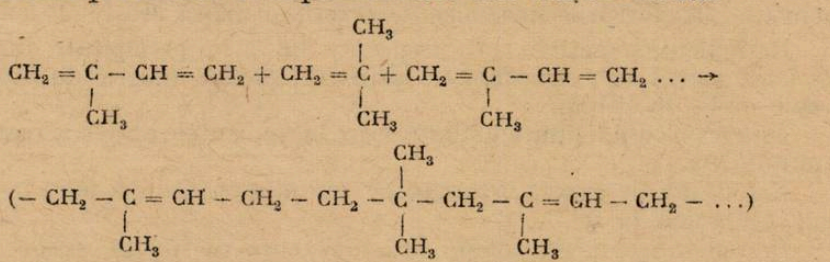
Separarea cauciucului se face pe site vibratoare, urmează apoi uscarea lui, prin presare în blocuri de 25 Kg. Blocurile se ambalează în foi de polietilenă.—

Cauciucul butadiena alfa metil stiren ca și cel stirenic, este un cauciuc de utilizare generală și se caracterizează prin proprietățile fizice mecanice superioare ca: rezistență la îmbătrînire, proprietăți dielectrice satisfăcătoare și rezistență mecanică.

Polibutil cauciuc

Această nouă varietate de cauciuc rezultă prin copolimerizarea izoprenului cu izobutenă.

Schema procesului de copolimerizare este cea cunoscută.



Butil cauciucul are importanță industrială în special în tehnică prin faptul că este impenetrabil pentru gaze, prezintă în plus rezistență la tracțiune.

Aceste cauciucuri înlocuiesc în mare parte cauciucul natural.

Industria de anvelope și alte industrii ce prelucrează cauciucul au nevoie și de cauciuc natural, ca atare în produsele finite sînt proporții bilite.—

În ultimi 12 ani s-au obținut rezultate deosebit de importante în domeniul cauciucurilor sintetice, strîns legate de dezvoltarea petrochimiei, care pune la dispoziție hidrocarburi și posibilități de obținerea hidrocarburilor dienice, suficiente și ieftine pentru sintetizarea cauciucului

Dezvoltarea industriei petrochimice în țara noastră va continua conform directivelor Congresului al IX-lea al PCR astfel că în următorii 5 ani se va obține și cauciuc poliizoprenic, monomerul rezultînd probabil prin dehidrogenarea izopentanului (2 metil butanul).

$$CH_3 - \underset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{CH}} - CH_2 - CH_3 \xrightarrow{-2H_2} CH_2 = \underset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{C}} - CH = CH_2$$

Nevoile tehnicii contemporane solicită noi sorturi de cauciuc cu proprietăți speciale, superioare rezistente la temperaturi înalte și șocuri.—

Tehnologia cauciucului

Cauciucul brut obținut este prelucrat ca și cel natural din mai multe puncte de vedere;

1).— Introducerea unor materiale auxiliare;

a).— ingredientele.

Prin ingrediente se înțelege substanțele în general sub formă de praf fin, adăugate cauciucului, fie pentru a reduce prețul de cost al obiectului confecționat, fie pentru a modifica anumite proprietăți ale cauciucului. Alteori ingredientele se adaugă pentru a ușura unele operații de fabricare. Aceste substanțe nu trebuie să aibă o acțiune chimică asupra cauciucului, asupra sulfului sau a acceleratorilor de vulcanizare, deci să nu schimbe vulcanizarea.—

Ingredientele se împart în două grupe:

— ingrediente inerte, întrebuințate ca material de umplutură și care schimbă puțin proprietățile mecanice ale cauciucului. Cea mai mare parte de ingrediente inerte sînt substanțe naturale în praf fin ca: sulfat de bariu, cretă, silice fosilă sau Kiesellgur, bauxită și alți numeroși silicați (talc, mică, caolin etc).—

— ingrediente active sau agenți de întărire care măresc rezistența cauciucului la eforturile mecanice de tracțiuni uzură etc.

Ingredientele active sînt preparate fie prin precipitare în mediul apos (carbonatul de magneziu), fie prin condensare (negru de fum, oxid de zinc, oxid de stibiu).

Nu există însă o limită definită între ingredientele active și materialele de umplutură.

Rezistența de rupere este mărită sau micșorată după felul ingredientului. Alungirea la fel.

Ingredientele inerte micșorează rezistența de rupere, uneori aceasta rămîne constantă. Agenți întăritori reduc mai mult alungirea decît prafurile inerte, în volume egale. Energia de rezistență crește atingînd un maximum, apoi scade la adausuri mai mari.

b. Plastifianții sînt foarte adesea substanțe lichide, cîte odată solide cu puncte de fuziune mici, mai mult sau mai puțin solubile în cauciuc, introduse în amestec cu scopul de a-i mări plasticitatea și pentru a ușura prelucrarea cauciucului înainte de vulcanizare. Plastifianți permit să se obțină repede gradul de plasticitate dorit, făcîndu-se astfel economie de timp mînă de lucru și forță motrică. De asemenea ajută la aderența ingredientelor în cauciuc, micșorînd tensiunea superficială, sau ajungînd la depolimerizarea lui.

Prin întrebuințarea plastifianților se poate mări cantitatea de substanțe minerale, înglobate evitînd o duritate prea mare. Unii plastifianți măresc puterea de lipire a foilor calandrate, deci determină unirea mai intimă a foilor vulcanizate. Alții, din contră, micșorează puterea de alipire. Pentru amestecurile puțin lipicioase, plastifiantul trebuie ales cu grijă. Pentru amestecurile bogate în materiale de umplutură, mulți plastifianți ajută la obținerea unui amestec omogen, alții din contră le aglomerează.

Întrebuințările plastifianților în proporții mari, micșorează rezistența la tracțiune, uzură și compresie, de asemenea măresc alungirea. Folosirea plastifianților trebuie bine dozată și corelată în același timp cu ingredientele.

Plastifianți pot fi clasificați astfel:

— plastifianți de regn mineral: bitum, parafină, vaselină, ulei mineral, gudroane și rășini de petrol.

— plastifianți din regn vegetal: uleiurile și grăsimile vegetale, produse rășinoase naturale, gudroane din lemn etc.

— din regnul animal: uleiuri animale, ceară de insecte, lanolină, glicerină etc.—

Burtbridge, propune următoarea clasificare a plastifianților:

— plastifianți cu adevărat înmuietori, ca bitumul, care se dizolvă în cauciuc, menținîndu-se și după vulcanizare și care pînă la un oarecare procent îmbunătățește calitățile fizice ale cauciucului.

— plastifianți pseudoînmuietori, care sparg aglomerarea particulelor, dau produse noi, dar heterogene, iar după vulcanizare au tendința de a se separa de cauciuc. Nu este o limită bine stabilită între unii și ceilalți.

2).— Mașini întrebuințate în general la prelucrarea cauciucului.

a).— Valțurile, sînt compuse din cilindri așezați orizontal și care se învîrtesc în sens invers cu viteze diferite sau egale după lucrul care se efectuează. Sînt folosite valțuri care trag foi de cauciuc ce sînt acționate cu o viteză foarte mică și valțuri care sfarîmă deșeurile de cauciuc ce sînt acționate cu o viteză foarte mare de rotire.

Valțurile sînt uneori prevăzute cu un dispozitiv care asigură răcirea lor prin circulația interioară de apă sau încălzirea lor prin circulație de aburi.—

b). — Mașini de amestecat automate Acest gen de mașini se folosesc în general pentru prelucrarea — amestecului în masă — și amestecurilor care se prepară în cantități mari. Sînt constituite dintr-o casetă de fontă în interiorul căruia se învîrtesc palete amestecătoare. Acestea pot fi menținute la temperatura dorită prin circulație de apă rece sau vaporii pe interior.

c). — *Calandrele*. Calandrele sînt laminoare cu cilindri așezați de obicei într-un plan vertical. Calandrele sînt mașini de precizie cu ajutorul cărora se pot trage în foi de cîteva sutimi de milimetru grosime și cu care se pot guma ștofele. Cilindri lor sînt făcuți din fontă oțelită prin care circulă apă sau aburi pentru reglarea foarte precisă a temperaturi. Cilindrii sînt cuplați între ei cu angrenaje, care permit să se învîrtească cu aceiași viteză sau cu viteză diferită, după cum calandrul se întrebuințează pentru a întinde foi sau pentru a guma țesături.

Se poate ca unul din cilindri, în general cel inferior să fie gravat sau profilat și demontabil pentru a putea fi înlocuit prin altul cu gravură diferită folosit în scopuri speciale.

d).— Spriţmaşinile sînt întrebuinţate pentru tras tuburi sau benzi profilate. Principiul acestor maşini este comprimarea amestecurilor de cauciuc într-o cameră, de unde iese apoi trecînd printr-o filieră cu profilul dorit.

e).— Prese autoclave. Sînt folosite pentru obţinerea articolelor de dimensiuni mari în general pentru anvelope etc.

În acest caz în interiorul autoclavului se găseşte o matriţă în care se presară cu un sistem hidraulic cauciucul pe un suport textil, cordul de cauciuc, pînzele cauciucului.

Sînt cunoscute apoi presele de clopot şi presele de panouri.

Prelucrarea cauciucului la noi în ţară se face în cantităţi industriale la uzinele prelucrătoare cum sînt; Combinatul Jilava, Combinatul Quadrat, Uzinele Victoria —Floreşti Prahova.

Privind prin prisma posibilităţilor ce le oferă o ţară cu o industrie petroliferă dezvoltată, putem afirma că ţara noastră posedă surse de materii prime necesare dezvoltării producţiei de cauciuc sintetic.

În cursul şesenalului a fost construit Combinatul Chimic de cauciuc sintetic Gh. Gh. Dej cu o capacitate de 50 mii tone cauciuc pe an.

Tehnica modernă, mecanizarea transporturilor, a maşinilor de lucru, necesarul pentru confecţionarea cablurilor electrice şi a curelelor de transmisie au făcut ca nevoile de cauciuc să crească continuu.

Astăzi cauciucul sintetic reprezintă 40% din totalul producţiei şi consumului de cauciuc în lume.

La noi în ţară combinatele de fabricarea cauciucului vor putea realiza sarcinile trasate de Directivele Congresului al IX-lea al PCR în sensul de a se fabrica în 1970 — 1.900 mii buc. anvelope (pentru mijloacele de transport) adică de 1,5 ori mai mult faţă de 1965.—

Industria noastră se bucură de mari aprecieri prin exponatele ce prezintă la tîrgurile internaţionale de mărfuri industriale echipate cu cauciucuri româneşti pe care se găseşte înscris „fabricat în R.S.R.".—

STUDIEREA TERMODINAMICĂ A ACTIVITĂŢII ELECTRICE A CELULELOR VII

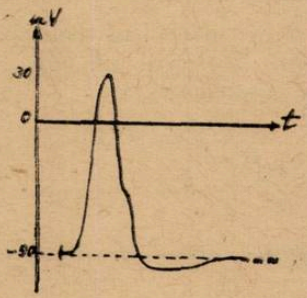
D. MARGINEANU
Fac. de Fizică, Universitatea Bucureşti.

Cercetarea experimentală a activităţii electrice a celulelor vii este una din direcţiile cele mai fecunde ale biofizicii. În această lucrare noi prezentăm un mod de abordare teoretică a acestei probleme, cu ajutorul termodinamicii proceselor ireversibile.

Se cunoaşte de mai mult timp faptul că celulele organismelor vii prezintă o anumită activitate electrică. În primul rînd toate celulele animale manifestă un aşa numit „potenţial de repaus", în sensul că întotdeauna faţa internă a membranei celulare este cu aproximativ 90 mV mai negativă decît cea externă, aşa că se ia potenţialul membranei în repaus : $E_m = -90$mV. În afară de aceasta celulele nervoase, musculare, senzitive şi glandulare dacă sînt stimulate cu excitanţi suficient de intenşi şi bruşti prezintă o descărcare electrică propagabilă ce poate fi înregistrată oscilloscopic [1]. Această descărcare se numeşte potenţial de acţiune. În prezent există mai multe teorii fiziologice asupra activităţii electrice a celulelor [2].

În toate cele ce urmează adoptăm punctul de vedere al teoriei ionice care se bucură de cea mai largă acceptare (autorii ei A. L. Hodgkin și A. F. Huxley au primit premiul Nobel în 1963) și se pretează cel mai bine unei abordări termodinamice.

Potențialul de repaus este rezultatul distribuției ionice inegale pe cele două fețe ale membranei celulare. Prin analize chimice s-a constatat că ionul K^+ este în cantitate mult mai mare în lichidul intracelular iar Na^+ în cel extracelular. Anionii organici sînt aproape exclusiv în interiorul celului iar ionul Cl^- se consideră a fi în echilibru electrochimic în cele două spații. În tabelul din fig. 1 sînt date după [3] raporturile concentrațiilor ionice în interior față de exteriorul celulei la cîteva mai des studiate.



	Concentrația internă	Concentrația externă	
	K^+	Na^+	Cl^-
Axon Loligo	19 : 1	1 : 9	1 : 14
Axon Carcinus	24 : 1	1 : 10	1 : 21
Mușchi de broască	48 : 1	1 : 7	1 : 64

Faptul că într-o celulă vie distribuția ionică este opusă gradienților de concentrație și de potențial și că încetarea metabolismului celular duce la egalizarea concentrațiilor ionice (deci la $E_m = 0$), a impus concluzia că în celulele vii funcționează o „pompă de Na — K" care transportă Na^+ în afara celulei și K^+ în interiorul ei, consumînd pentru aceasta energie metabolică. Modul concret de funcționare a pompei de $Na - K$ nu este cunoscut și constituie obiect de dispută. Însă acest lucru nu afectează scopul lucrării de față.

Cînd un stimul electric scurt și suficient de intens este aplicat pe membrana unei celule nervoase, musculare, senzitive sau glandulare se produce o modificare bruscă și trecătoare a proprietăților membranei, reprezentînd potențialul de acțiune (fig. 2).

S-a sugerat [1] că stimulul face să crească permeabilitatea membranei față de Na^+ de ≈ 500 ori așa că acum Na^+ și nu K^+ este în echilibru electrochimic. Apoi, în decurs de 1 ms, permeabilitatea revine la valorile de repaus.

Să considerăm acum două subsisteme aflate la aceiași temperatură T și conținînd fiecare n specii de ioni cu sarcinile respectiv $z_k (k = 1, 2, \ldots, n)$. Subsistemele sînt separate printr-o membrană cu permeabilități diferite pentru fiecare ion.

Intensitatea curentului total care trece prin membrană este :

$$i = -\sum_{k=1}^{n} z_k F \frac{dn_k}{dt} - = \sum_{k=1}^{n} z_k F \Phi_k , \qquad (1)$$

unde

$F = 96.500$ C = numărul lui Faraday.

$\Phi_k = \frac{dn_k}{dt}$ = fluxul de ion k prin membrană exprimat în moli/secundă.

Variația de energie implicată de acest proces este:

$$dU = dQ - pdV + I(\varphi' - \varphi'')\,dt, \tag{2}$$

unde:

φ' = potențialul în interiorul celulei., φ'' = potențialul în exteriorul celulei, deci:

$$\varphi' - \varphi'' = E_m \tag{3}$$

Variația de entropie este [4], [5]:

$$dS = \frac{dU}{dt} + \frac{p}{T}dV - \sum_{k=1}^{n}\frac{\mu_k'}{T}dn_k' - \sum_{k=1}^{n}\frac{\mu_k''}{T}dn_k'' \tag{4}$$

μ_k' = potențialul chimic molar al componentului k în interiorul celulei, iar μ_k'' = același potențial în exteriorul celulei, dn_k' = fluxul de ion k din interior spre exterior., iar dn_k'' = fluxul de ion k în sens invers.

Introducînd (2) și (1) în (4), obținem:

$$dS = \frac{dQ}{T} - \sum_{k-1}^{n}\frac{\mu_k' + z_kF\varphi'}{T}dn_k'' - \sum_{k=1}^{n}\frac{\mu_k'' + z_kF\varphi''}{T}dn_k'.$$

Notînd: $\bar{\mu}_k = \mu_k + z_kF\varphi$ = potențialul electrochimic molar al componentului k, avem:

$$dS = \frac{dQ}{T} - \sum_{k=1}^{n}\left[\frac{\bar{\mu}_k'}{T}dn_k' - \frac{\bar{\mu}_k''}{T}dn_k''\right]. \tag{5}$$

Termenul $\frac{dQ}{T}$ reprezintă entropia produsă datorită schimburilor cu exteriorul, d_eS, iar celălalt termen reprezintă entropia produsă datorită ireversibilității proceselor ce au loc în sistem, d_iS. Deoarece nu au loc reacții chimice, conservarea maselor impune:

$$dn_k' + dn_k'' = 0, \tag{6}$$

deci

$$\frac{d_iS}{dt} - = \frac{1}{T}\sum_{k=1}^{n}(\bar{\mu}_k' - \bar{\mu}_k'')\frac{dn_k'}{dt}. \tag{7}$$

Condiția de echilibru a componentului k în cele două subsisteme este minimul parțial al sursei interne de entropie $\frac{d_iS}{dt}$, adică:

$$\frac{\partial}{\partial n_k'}\left(\frac{d_iS}{dt}\right) = 0. \tag{8}$$

Rezultă: $\bar{\mu}_k' = \bar{\mu}_k''$; $\mu_k' + z_kF\varphi_k' = \mu_k'' + z_kF\varphi_k''$.

Potențialul de echilibru electrochimic al componentului k este:

$$E_k = \varphi_k' - \varphi_k'' = \frac{\mu_k'' - \mu_k'}{z_kF}. \tag{9}$$

Se știe [9] că: $\mu_k = \mu_k^* + RT\ln c_k$; c_k = concentrația ionului k, deci:

$$E_k = \frac{RT}{z_kF}\ln\frac{c_k''}{c_k'}. \tag{10}$$

Pe baza analizei chimice a lichidului intracelular și extracelular calculăm cu formula (10) valorile E_k în milivolți pentru diferiți ioni (tabelul 3). Dăm și valorile măsurate ale E_m după [6].

Energia necesară funcționării pompei de Na — K este cea necesară menținerii concentrațiilor ionice respective și o putem calcula astfel:

$$\frac{dU}{dt} = T\frac{d_i S}{dt} = -\sum_{k=1}^{n}(\bar{\mu}'_k - \bar{\mu}''_k)\frac{dn'_k}{dt}$$

$$\bar{\mu}''_k - \bar{\mu}'_k = \mu''_k - \mu'_k + zF(\varphi'' - \varphi') = RT\ln\frac{c''_k}{c'_k} -$$

$$Z_k F E_m = Z_k F(E_k - E_m)$$

$$\frac{dU}{dt} = \sum_{k=1}^{n} Z_k F(E_k - E_m)\frac{dn'_k}{dt} = \sum_{k=1}^{n} z_k F(E_k - E_m)\cdot\Phi_k \qquad (11)$$

Tabelul 2

	$-E_{K^+}$	E_{Na^+}	$-E_{Cl^-}$	$-E_m$ măsurat
Axon Laligo	76	57	68	61
Axon Carcinus	91	59	79	82
Mușchi de broască	100	51	107	88

Tabelul 3

	Na^+	K^+
Axon Sepia	31	17
Axon Carcinus	—	19
Mușchi de broască	16	7

Fluxurile de ioni prin membrana în repaus în 10^{-12} M/cm² sec.

Cu formula (11) și pe baza datelor din tab. 2 și 3. conținînd fluxul activ de ioni prin membrană [7] calculăm energia consumată de pompa ionică în cazul mușchiului scheletal de broască. Obținem:

$\frac{\Delta U}{\Delta t} \approx 1{,}5\cdot 10^{-8}$ I/sec, pentru o fibră.

Comparînd cu producția de energie calculată pe baza consumului de oxigen [8], găsim că necesitățile energetice ale funcționării pompei de Na — K nu reprezintă mai mult de 20% din energia produsă prin metabolism. Astfel, considerațiile termodinamice făcute anterior apar principial foarte acceptabile.

BIBLIOGRAFIE

[1] *T. Ruch, J. Fulton*: Fiziologie medicală și biofizică, București 1963.
[2] *E. Macovski* Studii și cercetări de biochimie, 4, 1965.
[3] *A. G. Pasinschii*: Biofiziceskaia Himia, Moskva 1963.
[4] *A. Kathalsky, P. Curran*: Nonequilibrium Thermodynamics in Biophysics, Cambridge, Massachusetts 1965.
[5] *K. Guminski*: Termodinamica proceselor ireversivile, Buc., 1964.
[6] *A. Hodkin, R. Keynes*: Journal of Physiology, 1955, 128 (după 3).
[7] *U. Floid*: Electrochimia kletoc nervov u mișt, Moskva 1957 (după 3).
[8] *R. Keynes, G. Maisel*, Proc. royal Society 1954, B 142 (după 1).
[9] *Z. Gaboș, O. Gherman*: Termodinamica și fizica statistică, București 1964.

TEHNOLOGIA DE FABRICARE A AMONIACULUI

CORNELIA GHEORGHIU — prof. București

Una din substanțele cu o importanță industrială deosebită este amoniacul. Prin larga sa utilizare la fabricarea acidului azotic, carbonatului de sodiu, a unor medicamente și în special prin folosirea lui la obținerea îngrășămintelor chimice cu azot, amoniacul poate fi considerat ca o valoroasă materie primă industrială pentru fabricarea altor produse chimice.

La construirea unei fabrici se urmărește alegerea unui proces tehnologic modern, economic și în care să se aplice cele mai noi progrese din domeniul respectiv. Ca urmare și în tehnologia de fabricare a amoniacului s-a pus accentul pe găsirea unei metode industriale avantajoase. Aceasta o constituie sinteza amoniacului prin conversia catalitică a metanului, care este o materie primă naturală ce asigură un preț de cost scăzut și deci o rentabilitate mare.

Fazele principale ale sistemului de fabricare mai sus menționat sînt următoarele :

1. obținerea gazului brut de sinteză
2. purificarea gazului de sinteză.
3. sinteza propriu-zisă a amoniacului.

Obținerea gazului brut de sinteză.

Analiza cantitativă a amoniacului conduce la următoarele concluzii :

In greutate	82,3% azot	*În volume*	25% azot
	17,7% hidrogen		75% hidrogen

Calculul teoretic ne indică pentru obținerea unei tone de amoniac, necesitatea folosirii a 1975 Nm^3 de hidrogen și 658 Nm^3 de azot, ceea ce totalizează 2633 Nm^3 de gaze. Datorită pierderilor ce se produc în circuitul sintezei, în practică, sînt însă necesari 2800 Nm^3 gaz de sinteză purificat.

Hidrogenul necesar fabricării amoniacului se poate obține prin mai multe metode dintre care menționăm :

— electroliza apei, folosită în țările în care rezervele de combustibil sînt reduse, iar energia electrică este ieftină ;

— electroliza clorurei de sodiu, în urma căreia hidrogenul rezultat este un produs secundar ;

— gazeificarea combustibililor solizi, lichizi sau gazoși și

— conversia catalitică a metanului.

Azotul se poate obține din atmosferă prin îndepărtarea oxigenului pînă la realizarea unui procentaj de 99,98% azot. Sistemul de îndepărtare a oxigenului atmosferic poate fi :

— conversia metanului cu abur în două trepte ;

— trecerea unui curent de aer peste cărbune înroșit și

— distilarea fracționată a aerului lichid.

Pentru țara noastră materia primă cea mai indicată din punct de vedere tehnic și economic este metan care prin conversia catalitică cu abur în două trepte, conduce la formarea gazului de sinteză a amoniacului.

Procedeul a fost folosit pentru prima dată în 1930, iar în anul 1936 a intrat în funcțiune prima instalație de sinteză a amoniacului din gaz metan din Europa, la Tîrnăveni.

În schema tehnologică Nr. 1 se pot urmări etapele obținerii gazului brut de sinteză prin conversia catalitică a metanului cu abur, în două trepte.

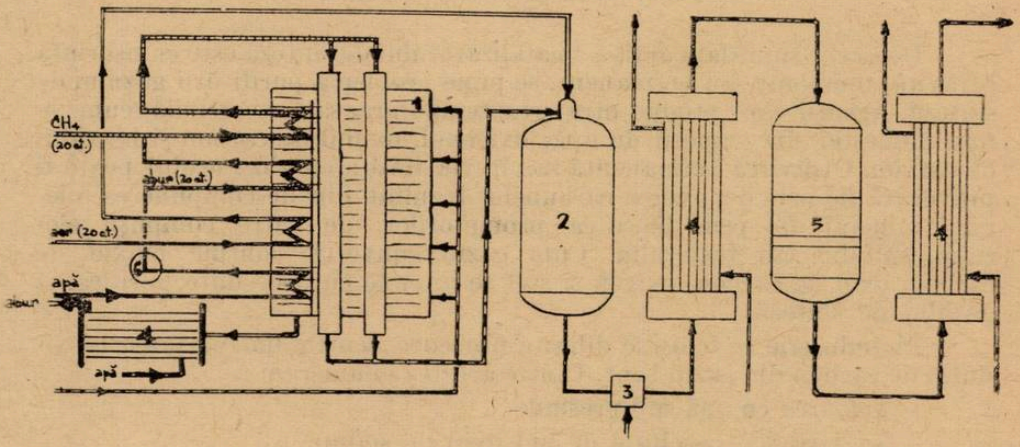
Aceasta are loc într-un cuptor tubular (1) în care se introduc materiile prime : metanul și aburul, după ce în prealabil au fost încălzite la 400°C. În cuptor se găsesc catalizatori de nichel, încălziți la 700 — 800°C, care înlesnesc reacțiile endoterme de mai jos :

$$CH_4 + H_2O \rightleftarrows CO + 3H_2 - Q_1$$
$$CH_4 + 2H_2O \rightleftarrows CO_2 + 4H_2 - Q_2$$

Căldura necesară reacțiilor se realizează prin încălzirea exterioară a tuburilor de cracare, folosindu-se combustibil gazos sau lichid.

După prima treaptă de reformare se obține un amestec de gaze cu următoarea componență : hidrogen 72% ; bioxid de carbon 11% ; oxid de carbon 10% și aproximativ 7% metan.

Pentru a avea un grad de conversie sporit și deci o cantitate de metan rămas netransformat, cît mai mică, e necesar ca atît raportul abur : metan, cît și temperatura să crească.



1 Schema obținerii gazului brut de sinteză

1. Cuptor tubular. *2.* Sobă de reacție finală. *3.* Cameră de stropire. *4.* Recuperator de căldură. *5.* Convertor de CO. *6.* Cazan de aburi.

Definitivarea conversiei metanului are loc în soba de ardere (2) finală care este un reactor cilindric vertical căptușit cu cărămidă refractară și umplut cu catalizator de nichel. In sobă se introduce amestecul de gaze obținut în treapta I de reformare, aer în cantitatea necesară obținerii azotului, și oxigenul pentru întreținerea arderii. Reacțiile care au loc în soba de ardere finală și care conduc la transformarea restului de metan pînă la o concentrație de 0,2 — 0,5%, sînt următoarele :

$$2H_2 + O_2 + 3{,}76\ N_2 = 2H_2O + 3{,}76\ N_2 + Q$$
$$CH_4 + H_2O = CO + 3H_2$$
$$CH_4 + 2H_2O = CO_2 + 4H_2$$

Treapta a II-a de reformare conduce deci la un amestec de gaze cu componenţa următoare : hidrogen 57% ; bioxid de carbon 9% ; oxid de carbon 11% ; metan 0,5% şi azot 22,5%. Ca urmare a ridicării temperaturii gazelor aproximativ la 1000° C, datorită căldurii dezvoltate prin reacţia exotermă a oxigenului cu hidrogenul, gazele din treapta a II-a a reformării, sînt trecute printr-un recuperator de căldură (4).

În scopul descreşterii concentraţiei oxidului de carbon şi creşterii conţinutului de hidrogen, gazul convertit şi răcit pînă la 550° C, este introdus într-un convertor de oxid de carbon. Aci, în prezenţa catalizatorilor de oxid de fier şi de crom, are loc conversia oxidului de carbon cu vapori de apă, în bioxid de carbon şi hidrogen, conform ecuaţiei de echilibru a gazului de apă :

$$CO + H_2O \rightleftarrows CO_2 + H_2 + 9840 \text{ Kcal/mol.}$$

În convertor temperatura de regim trebuie să fie 350 — 500° C. Pentru menţinerea acestei temperaturi normale de lucru, reacţia de conversie a oxidului de carbon fiind exotermă, se foloseşte fie un schimbător de căldură interior, fie procedeul de injectare a unui condensat între straturile de catalizator.

Purificarea gazului de sinteză

Deoarece suprafaţa activă a catalizatorului de sinteză este cu uşurinţă otrăvită, temporar sau permanent, se pune problema purificării gazului de sinteză. Agenţii care produc otrăvirea temporară, sau reversibilă cum se mai numeşte, sînt vaporii de apă, oxigenul, oxidul de carbon şi bioxidul de carbon. Otrăvirea permanentă sau ireversibilă a catalizatorului poate fi provocată fie prin depunerea cărbunelui rezultat din descompunerea uleiului mineral, fie prin blocarea promotorilor, de către compuşii clorului, sulfului sau fosforului. Cum gazul convertit conţine bioxid de carbon, oxid de carbon, oxigen şi sulf se impune cu necesitate purificarea gazului de sinteză.

În industrie se folosesc diferite procedee pentru îndepărtarea bioxidului de carbon din gazul brut. Dintre acestea enumerăm :

— spălarea cu apă sub presiune
— spălarea cu o soluţie de hidroxid de sodiu
— spălarea cu carbonat de potasiu, fierbinte şi
— absorbţia de către apa amoniacală.

Procedeul aplicat încă din anul 1930, este folosit şi astăzi în marea majoritate a instalaţiilor de purificare a gazelor de sinteză şi constă în spălarea cu apă sub presiune. În cazul folosirii bioxidului de carbon la fabricarea ureei, gheţii uscate, sau sub formă lichidă, cînd puritatea acestuia trebuie să fie 98 — 99%, spălarea cu apă trebuie să fie succedată de una suplimentară cu o soluţie de hidroxid de sodiu. Acest procedeu se foloseşte la noi în ţară la combinatele chimic de la Roznov şi Craiova.

În schema tehnologică nr. 2 se poate urmări că din schimbătorul de căldură (4), gazul de sinteză nepurificat trece în turnul de spălare cu apă (1). În continuare gazul purificat de bioxid de carbon în prima treaptă, trece în turnul de spălare cu soluţie de hidroxid de sodiu (2).

Soluția uzată după ce este recirculată pe la mijlocul turnului, cu ajutorul pompei P_1 este evacuată pe la baza coloanei. Astfel se realizează eliminarea bioxidului de carbon, după care urmează îndepărtarea oxidului

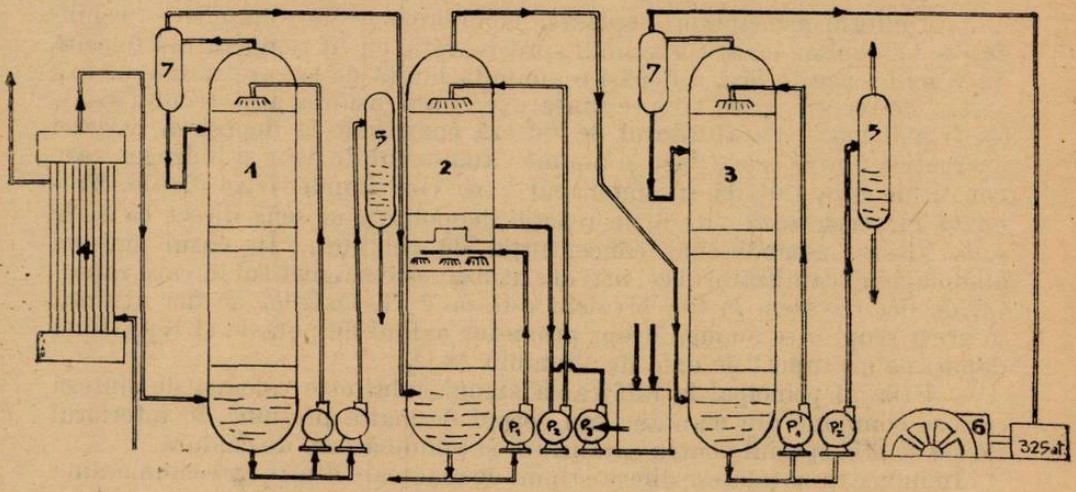


Fig. 2. Schema purificării gazului de sinteză

1. Turn de spălare cu apă. *2.* Turn de spălare cu soluție de NaOH. *3.* Turn de spălare cu soluție cupro-amonicală. *4.* Recuperator de căldură. *5.* Rezervor de expansiune. *6.* Compresor. *7.* Separator de picături.

de carbon din gazul de sinteză, operație ce se efectuează, în mod frecvent, prin spălare cu o soluție cupro-amoniacală, sau cu azot lichid.

Tot din schema Nr. 2 rezultă că gazul purificat de bioxid de carbon în treapta a II-a, este introdus pe la baza turnului de spălare cu soluție cupro-amoniacală (3), turn în care se pompează prin P_1 în contra curent soluția mai sus menționată. În rezervorul de expansiune (5) se pompează cu ajutorul pompei P_2' soluția cupro-amoniacală uzată, iar gazul de conversie $N_2 + 3H_2$ după ce trece prin separatorul de picături (7) este îndreptat spre compresorul (6) unde are loc comprimarea gazului de sinteză.

Luînd drept criteriu presiunea de regim distingem 3 procedee de sinteză a amoniacului și anume :

— la presiune joasă pînă la 325 atm.
— la presiune medie între 325 — 600 at. și
— la presiune înaltă peste 600 at.

Deși în ultimul timp, tendința este de a se trece la presiuni de 450—600 at., trebuie menționat faptul că cea mai utilizată metodă rămîne încă cea care folosește presiunea de lucru de 300 at.

Studiul economic al presiunii optime a demonstrat că presiunea de 420 Kgf/cm^2 este cea mai convenabilă pentru obținerea amoniacului lichid, cu atît mai mult cu cît presiunea la aspirație în treapta I-a de compresie, este aceea cu care gazele ies din instalație, adică circa 15 — 30 at.

Compresoarele folosite sînt de obicei cele de tip orizontal cu 6 trepte de compresie. În ultimul timp se tinde însă la înlocuirea compresoarelor orizontale cu cele verticale, cu cilindrii opuși, sau chiar centrifugale.

Sinteza propriu-zisă a amoniacului.

În anul 1913 a fost pusă în funcțiune prima fabrică de amoniac sintetic, din lume, care a funcționat după procedeul Haber-Bosch, procedeu pe care îl vom descrie în continuare.

Sinteza amoniacului se realizează direct din elemente la temperatura de 500 — 525° C și la 325 at în prezența catalizatorilor, după reacția :

$$N_2 + 3\,H_2 \rightleftarrows 2\,NH_3 + 22{,}1\ Kcal/mol.$$

Conform principiului deplasării echilibrelor — Le Châtelier — echilibru se va deplasa cu atît mai mult spre dreapta, cu cît temperatura folosită va fi mai scăzută, fără a depăși o anumită limită de la care se micșorează viteza de reacție, și cu cît presiunea exercitată asupra amestecului gazos va fi mai mare. Catalizatorul de sinteză contribuie la depășirea barierei energetice dintre cele 2 faze și anume : amestecul de azot și hidrogen care constituie faza inițială și amoniacul care corespunde fazei finale. Totodată el accelerează viteza de reacție deopotrivă în sens direct ca și în sens invers, nemodificînd concentrația de echilibru. În cazul sintezei amoniacului, catalizatorul cel mai des utilizat este magnetitul în care raportul de fier trivalent la fier bivalent este de 2 : 1. Oxizilor de fier utilizați în acest scop, li se adaugă drept promotor oxidul de potasiu și K_2O, fiind depuși pe un suport de oxid de aluminiu Al_2O_3.

Utilajul principal la fabricarea amoniacului este coloana de sinteză care se compune din mantaua sau corpul de înaltă presiune, în interiorul căruia se află spațiul pentru catalizator și schimbătorul de căldură.

În industrie se folosesc diferite tipuri de reactoare dintre care enumerăm :

— reactorul cu un singur strat de catalizator
— reactorul cu mai multe straturi de catalizator
— reactorul tubular în echicurent sau în contracurent.

Reactorul cu mai multe straturi de catalizator, la rîndul lui, după sistemul de răcire poate fi de două feluri și anume :

— răcire cu gaz introdus între straturi și
— răcire cu apă, ce circulă prin serpentine montate între, sau în straturile de catalizator.

Pe schema tehnologică Nr. 3 se poate urmări circuitul gazului de sinteză, și după reacția din coloana de sinteză, circuitul amoniacului obținut.

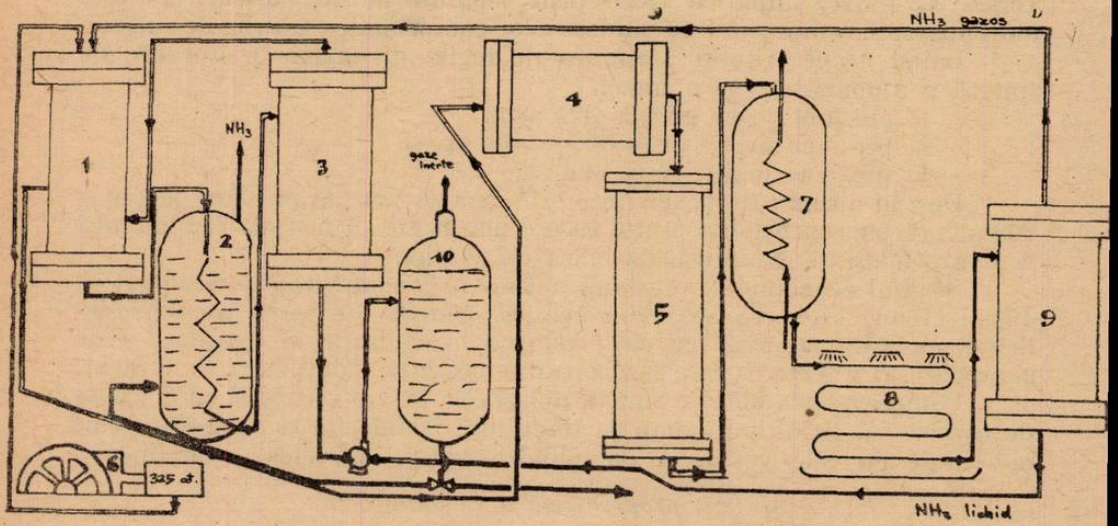


Fig. 3. Schema sintezei amoniacului prin procedeul Haber-Bosch.

1. Schimbător de frig. *2. 8.* Răcitoare (cu apă. *8.* cu NH_3.). *3.* Separator de NH_3 (treapta II-a). *4.* Turbocirculator. *5.* Coloană de sinteză. *6.* Compresor. *7.* Recuperator de căldură. *9.* Separator de amoniac (treapta I-a). *10.* Rezervor de expansiune.

Gazul de conversie ($N_2 + 3\ H_2$) după ce este comprimat în compresorul (6) este introdus într-un schimbător de frig (1), unde se amestecă cu amoniacul recirculat, într-un răcitor (2) și în continuare într-un separator de amoniac (3), și apoi în turbocirculatorul (4). De aici gazul de conversie se introduce în coloana de sinteză (5) unde are loc reacția în urma căreia se obține amoniacul.

Reacția de sinteză fiind puternic exotermă, recuperarea parțială a căldurii este deosebit de importantă, cheltuielile de exploatare reducîndu-se cu circa 50% față de sistemul de sinteză fără recuperare. De aceea amoniacul după ce-i trecut printr-un recuperator de căldură (7) este răcit cu apă (8) și condus într-un separator de amoniac în treapta 1-a (9). Amoniacul lichid se strînge într-un rezervor de expansiune (10), în timp ce gazul este pompat în schimbătorul de frig (1), realizîndu-se astfel recirculația amoniacului.

Amoniacul anhidru, obținut prin lichefierea celui gazos, prin comprimare și răcire, se păstrează în stare lichidă la temperatura de —33, —35° C și presiune atmosferică.

Datorită multiplelor utilizări, perfecționarea procedeelor de fabricație a amoniacului constituie, în momentul de față, o preocupare majoră urmărindu-se creșterea rentabilității și a producției lui.

BIBLIOGRAFIE

[1] *I. Moldovan, Gh. Chivu* Tehnologia îngrășămintelor minerale Ed. Tehnică Buc. 1964 pag. 36—104

[2] *C. D. Nenițescu* Chimie generală Ed. tehnică Buc. 1963 pag. 444—449

[3] *E. Beral, M. Zapan.* Chimie anorganică Edit. tehnică Buc. 1962 pag. 338 — 343

[4] *A. Marinescu, C. Rabega, I. Rișavi.* Chimie generală Ed. de stat didactică și pedagogică Buc. 1962 pag. 288—295

[5] *C. Gheorghiu.* Probleme actuale de chimie Ed. didactică și pedagogică Buc. 1964 pag. 87—106

[6] *F. Daneș* și *V. Mihăilescu.* Chimie fizică Ed. de stat didactică și pedagogică Buc. 1961 pag. 135 — 138

[7] *N. Cioc* Influența suportului asupra proprietăților catalizatorilor solizi. — Revista de fizică și chimie seria A nr. 31966 pag. 90 — 95

APARAT PENTRU DETERMINAREA COEFICIENTULUI DE FRECARE DE ALUNECARE PE CALE DINAMICĂ

Conf. univ. *SIMA D. PETRE* și șef de laborator MORARU NICOLAE

Institutul Politehnic — Brașov

Verificarea experimentală a unor legi fizice cît și determinarea în cadrul laboratorului a unor mărimi de stare joacă un rol instructiv deosebit de important pentru studenți. Acest lucru impune dezvoltarea în consecință a laboratoarelor pentru fiecare ramură a fizicii în parte și dotarea lor cu aparatura cea mai modernă și mai variată. Experiențele practice executate de către studenți în cadrul laboratoarelor diferitelor discipline studiate sînt de natură să asigure studenților o asimilare cît mai profundă a principiilor fundamentale ale acestor discipline, deprinzîndu-i pe aceștia cu aplicarea lor corectă și — ceea ce este cel mai important — ridicînd mult calitatea asimilării disciplinelor înrudite din anii următori.

Mergînd pe această linie, în cadrul Institutului Politehnic din Braşov a luat fiinţă, încă cu cîţiva ani în urmă, un laborator de mecanică teoretică, care dispune la data actuală de circa 20 aparate construite în cadrul institutului, cea mai mare parte din ele la cercul ştiinţific studenţesc. Studenţii au astfel posibilitatea să efectueze lucrări de laborator la cursul de mecanică teoretică, lucrări ce contribuie în mod eficient la o cît mai bună apropiere a bazelor fizice ale noţiunilor acestei discipline, ele obişnuindu-i în acelaşi timp pe studenţi cu o atitudine critică şi conştientă faţă de ipotezele şi schematizările făcute la curs asupra fenomenului real. De asemenea, cu ocazia lucrărilor şi experienţelor făcute pe aparatele laboratorului, studenţii capătă deprinderi pentru munca ştiinţifică experimentală organizată, pentru utilizarea corectă a tehnicii măsurătorilor, putînd face aprecieri asupra ordinului de mărime al erorilor făcute cu această ocazie.

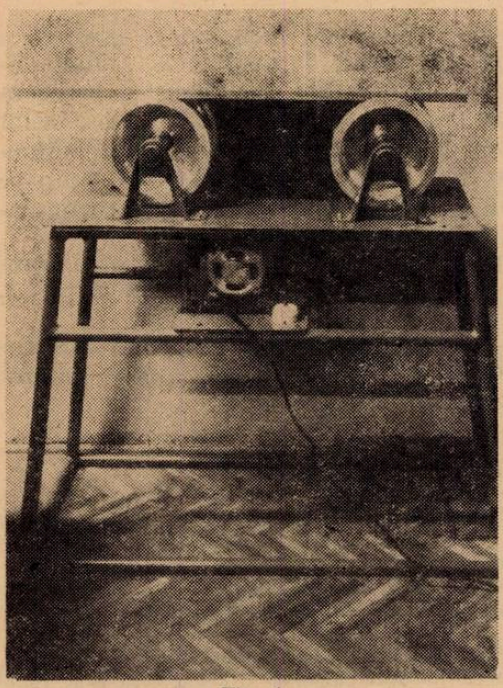


Fig. 1

În cele ce urmează, vom prezenta un aparat construit în cadrul laboratorului nostru (fig. 1), care permite determinarea coeficientului defrecare de alunecare pe cale dinamică.

Principiul aparatului constă în măsurarea timpului de oscilaţie al unei plăci aşezată iniţial în repaos pe doi cilindri care se rotesc cu viteze egale şi de sensuri contrarii (fig. 2).

Aparatul se compune dintr-un cadru 1, pe care se găseşte montat un electromotor de antrenare 2 (fig. 3). Mişcarea se transmite de la motorul 1 la cei doi cilindri 3 care capătă astfel mişcări de rotaţie cu viteze unghiulare egale ca valoare însă dirijate în sensuri opuse. Pe fiecare din cei doi cilindrii se poate monta o cămaşe exterioară 4 din diferite materiale.

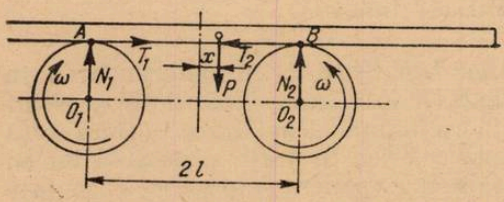


Fig. 2

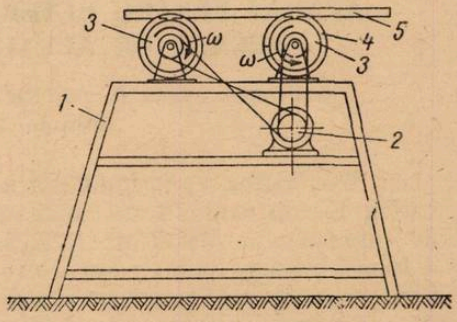


Fig. 3

Peste cilindri se așază o placă 5, care primește astfel o mișcare oscilatorie armonică — după cum va rezulta din cele ce se vor expune mai jos — cu o perioadă destul de mare încît să poată fi observată și cronometrată. Placa se poate de asemenea confecționa din materiale diferite în vederea determinării coeficientului de frecare de alunecare între cît mai multe perechi de materiale.

Introducînd notațiile :

μ — coeficientul de frecare de alunecare dintre placă și fiecare din cei doi cilindrii, presupus același și constant în timpul mișcării ;

P — greutatea plăcii ;

$2l$ — distanțele dintre axele celor doi cilindrii ;

x — distanța de la centrul de greutate al plăcii presupusă — într-o poziție curentă pînă la axa de simetrie a ansamblului ;

N_1, N_2 — reacțiunile exercitate de cilindrii asupra plăcii ;

T_1, T_2 — forțele de frecare de alunecare,

ecuațiile de echilibru ale plăcii se scriu :

$$\left.\begin{aligned} &\sum Y_i = 0 : \; N_1 - P + N_2 = 0 ; \\ &\sum M_{(A)} = 0 : \; 2l \cdot N_2 - (1 + x) \cdot P = 0. \end{aligned}\right\}$$

Rezolvînd sistemul de ecuații obținut, rezultă valorile celor două reacțiuni :

$$N_1 = \frac{1 - x}{2l} P ;$$

$$N_2 = \frac{1 + x}{2l} P.$$

Forțele de frecare care apar în punctele de contact ale plăcii cu cilindrii sînt ambele dirijate de la exterior către centrul de greutate al plăcii (fig. 3) și au respectiv valorile :

$$T_1 = \mu N_1 = \frac{1 - x}{2l} \mu P ;$$

$$T_2 = \mu N_2 = \frac{1 + x}{2l} \mu P.$$

Forța rezultantă care acționează placa pe orizontală este egală cu diferența celor două forțe de frecare ; ea are totdeauna sensul invers excentricității x deoarece reacțiunea cilindrului din jumătatea în care se află centrul de greutate al plăcii este mai mare.

Notînd prin F forța rezultantă ce acționează placa pe orizontală va fi deci

$$F = T_2 - T_1 = \mu \frac{x}{l} P.$$

Ecuația diferențială a mișcării plăcii va fi :

$$m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = -F,$$

sau :

$$\frac{P}{g} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + \mu \frac{x}{1} P = 0,$$

sau în urma simplificării :

$$\frac{d^2x}{dt^2} + p^2 x = 0,$$

unde s-a notat :

$$p^2 = \frac{\mu g}{1}.$$

S-a obţinut astfel o ecuaţie diferenţială liniară de ordinul doi şi cu coeficienţi constanţi, a cărei soluţii este de forma :

$$x = C_1 \cos pt + C_2 \sin pt,$$

în care p reprezintă pulsaţia mişcării, iar C_1 şi C_2 două constante de integrare ce se determină în baza condiţiilor cinematice iniţiale.

Soluţia ecuaţiei diferenţiale reprezintă o mişcare oscilatorie armonică de perioadă :

$$T = \frac{2\pi}{p} = 2\pi \sqrt{\frac{1}{\mu g}},$$

relaţie din care se determină expresia coeficientului de frecare de alunecare :

$$\mu = \frac{4\pi^2 1}{g T^2}. \qquad (1)$$

Cu ajutorul acestei relaţii se calculează coeficientul de frecare de alunecare μ, prin cronometrarea perioadei unei oscilaţii complete T.

Modul de lucru cu acest aparat este următorul :

Se alege o placă confecţionată dintr-unul din materialele între care trebuie determinat coeficientul de frecare şi se ataşează celor doi cilindri pe care se sprijină placa, două cămăşi confecţionate din cel de al doilea material aflat în contact. După ce se aşază placa pe cei doi cilindrii, avînd grijă ca atît placa cît şi cilindrii să nu fie umezi, se porneşte motorul şi se măsoară timpul mai multor oscilaţii complete, făcîndu-se apoi media.

Cu ajutorul formulei (1) se determină coeficientul de frecare de alunecare. Se repetă experienţa de mai multe ori cu acelaşi material şi cu materiale diferite în contact şi se compară rezultatele cu cele care se găsesc date în tabele pentru coeficientul de frecare de alunecare μ.

BIBLIOGRAFIE

[1] *Atanasiu* M. : Lucrări practice la cursul de mecanică teoretică. Litografia şi topografia învăţămîntului, Bucureşti — 1957.

[2] *Plăcinţeanu I.* : Mecanica vectorială şi analitică. Editura tehnică, Bucureşti — 1958.

[3] *Olariu V.* : Curs de mecanică teoretică, Braşov — 1965.

[4] *Sima D.P.* : Curs de mecanică teoretică, litografiat — 1963.

[5] *Sima D. P.* : Culegere de probleme de mecanică tehnică. Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti — 1964.

[6] *Sima D. P.* : Îndrumar pentru lucrări de laborator de mecanică, Braşov — 1966.

[7] *Stoenescu Al., Silaş Gh.* : Mecanica teoretică. Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti — 1963.

[8] *Vîlcovici V., Bălan St., Voinea R.* : Mecanica teoretică. Editura tehnică, Bucureşti — 1959.

EFECTUL PINCH – PROBLEMĂ DE SEMINAR

N. GHERBANOVSCHI – asistent Facultatea de Fizică, București

Printr-o coloană cilindrică de mercur de 1 cm diametru trece un curent continuu de intensitate $I = 100$ A.

Să se calculeze presiunea care apare în coloana de mercur datorită interacțiunii curentului cu cîmpul magnetic propriu (efect „pinch") : (*a*) la distanța $x = 0{,}25$ cm de axa coloanei și (*b*) pentru $x = 0$. (c) Să se calculeze, de asemenea, forța totală axială datorită aceluiași efect.

Dacă printr-un conductor de secțiune circulară trece un curent continuu de intensitate I, inducția magnetică creată de acest curent în interiorul conductorului, la distanța r de axul lui, este

$$B_r = \mu_0 \mu_r \left(\frac{2I}{R^2}\right) r.$$

Asupra purtătorilor de sarcină care trec prin punctul considerat va acționa inducția magnetică locală B și, ca urmare, se exercită asupra lor o forță dirijată înspre interiorul conductorului. Această forță este transmisă structurii materialului care alcătuiește conductorul tinzînd să-i micșoreze secțiunea.

Acest fenomen, denumit efect pinch, este cu evidență ilustrat experimental în cazul cînd conductorul este lichid – coloana de mercur din cazul de față, de exemplu.

Pentru a calcula numeric rezultatul acțiunii acestui efect, se determină forța care acționează asupra curentului ce trece printr-un cilindru elementar de rază r și grosime dr.

Intensitatea curentului prin acest cilindru este

$$dI = \frac{2\pi r\, dr}{\pi R^2} I = \frac{2Ir}{R^2} dr,$$

R fiind raza coloanei cilindrice.

Forța exercitată asupra acestui curent, dirijată radial spre axul cilindrului, este egală – pentru unitatea de lungime axială – cu $B_r\, dl$ și acționează pe suprafața cilindrică de arie $2\pi r$. Adică, presiunea ce se exercită asupra cilindrului elementar considerat este

$$dp = \frac{B_r\, dI}{2\pi r} = \frac{2\mu_0 \mu_r I^2}{\pi R^4} r\, dr$$

iar presiunea totală într-un punct din interiorul conductorului situat la distanța x de axa lui va fi

$$p_x = \int_x^R dp = \frac{\mu_0 \mu_r}{\pi R^4} (R^2 - x^2) \qquad (1)$$

În coloana de mercur, această presiune acționează asemenea unei presiuni hidrostatice astfel încît, dacă coloana de mercur, parcursă de curentul de intensitate I, este mărginită la capetele ei de două plăci metalice, asupra lor se va exercita o forță datorită existenței unei presiuni axial dirijate. Astfel, forța axială care acționează asupra secțiunii transversale a unei coloane cilindrice elementare are expresia

$$dF = p_r\, 2\pi r\, dr = \frac{2\mu_0 \mu_r}{R^4} I^2 (R^2 r - r^3)\, dr$$

iar forța axială totală,

$$F = \int_{r=0}^{r=R} dF = \frac{\mu_0 \mu_r I^2}{2} \qquad (2)$$

În cazul coloanei de mercur considerate în această problemă:
a) Pentru $x = 2{,}5 \cdot 10^{-3}$ *m*, din ecuația (1) rezultă

$$p_x \simeq 9{,}55 \frac{N}{m^2}$$

b) Pentru $x = 0$,

$$p_0 \simeq 12{,}73 \frac{N}{m^2}$$

c) Forța axială totală — din ecuația (2),

$$F = 5 \cdot 10^{-4} \ N.$$

În fizica și tehnica plasmei sînt foarte cercetate actualmente, în marile laboratoare, instalațiile cu efect pinch, instalații care fac parte din studiile ce se efectuează în legătură cu folosirea plasmei pentru producerea și dirijarea reacțiilor termonucleare (reactori de tipul „Columbus", Sceptre — S.U.A., Zeta — U.R.S.S., Teta-pinch — R.F.G. etc.).

In descărcările electrice de mare intensitate, datorită interacțiunii curentului cu cîmpul magnetic propriu și al forțelor electrodinamice respective, coloana de plasmă se contractă radial. De aici, rezultă, pe de altă parte, o termoizolare, iar, pe de altă parte, curentul încălzește plasma prin căldură Joule, cît și prin lucrul forțelor de compresiune.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

Bibl. O.

I.P.I. c. 5175

43 453

Lei 3

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL V

5

MAI 1968

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR 23, RAION 16 FEBRUARIE BUCUREȘTI 45 TELEFON 16.42.86

SUMAR

Hulanu Gh. Marinescu Eug.

Fenomenele magnetice și explicarea lor 161

Dolocan V.

Timpul de viață a purtătorilor de sarcină în semiconductori (I). 171

Bucurescu D.

Nucleul atomic. Modele nucleare. 181

Probleme propuse 197

COMITETUL DE REDACȚIE

Ion Agîrbiceanu, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Teodor Bohățiel,** asist. univ. — redactor; **Simion Bulgarea,** prof.; **Maria Codreanu,** prof.; **Nicolae Martalogu,** conf. univ.; **Eleonora Mihul,** cercetător; **Ion C. Moisil,** conf. univ.; **Aliee Negoescu,** prof.; **Ion C. Petrea,** conf. univ.; **Victor Sahini,** prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România). Redactor responsabil: **Constantin D. Albu,** lector univ.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A

volumul V, nr 5 mai, 1968

FENOMENELE MAGNETICE ŞI EXPLICAREA LOR

HUŢANU GH; Institutul Pedagogic Galaţi şi MARINESCU EUGENIA
Institutul Pedagogic Galaţi

1. Experienţa arată că rupînd o vergea magnet în bucăţi oricît de mici, la fiecare bucată astfel obţinută apar cei doi poli, nord şi sud. Ampère admite că însăşi molecula se comportă ca un mic magnet. Descoperirea echivalenţei dintre un curent electric circular şi o foiţă magnetică, descoperire făcută de Ampère, l-a determinat pe acesta să presupună că pe moleculele de fier, există un curent electric neîntrerupt şi că acest curent ar conferi moleculei cei doi poli. Aceşti curenţi moleculari *) au fost numiţi *curenţi amperici*,. Curenţii amperici sînt echivalenţi cu un volum elementar magnetizat caracterizat printr-un anumit moment magnetic elementar. Descoperirile ulterioare au arătat că aceşti curenţi amperici sînt rezultatul mişcării orbitale a electronilor. În figura alăturată, se arată o bară magnetică şi curenţii amperici. Se observă că rămîn necompensate porţiunile exterioare ale curenţilor amperici. Acestea dau naştere unui curent echivalent care circulă pe suprafaţa magnetului întocmai ca un curent solenoidal. (fig. 1).

Existenţa curenţilor amperici a fost pusă în evidenţă experimental, de către Einstein şi De Hass în 1915 în felul următor: în interiorul a două bobine legate în serie avînd 4000 spire fiecare, au introdus un cilindru de fier cu diametrul de 1,4 mm. şi lungimea de 10 cm., cilindrul fiind suspendat de un fir de cuarţ de 10μ diametru. O mică oglindă servea la măsurarea unghiului de torsiune (fig. 2). La închiderea circuitului au con-

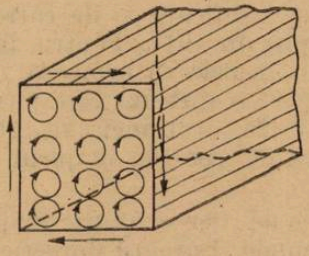


Fig. 1

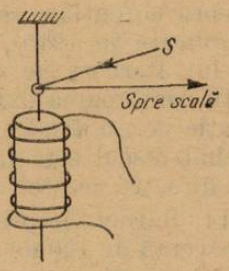


Fig. 2

statat o rotire într-un anume sens. Schimbînd sensul curentului, cilindrul s-a rotit în sens contrar. Această rotire reprezintă o dovadă a existenţei curenţilor amperici.

*) În teoria microscopică se arată că denumirea de curenţi moleculari nu e corectă şi de aceia în literatura modernă se foloseşte denumirea de curenţi amperici.

Din mecanică se cunoaşte că produsul dintre masa m, a unui corp şi viteza lui $\vec{v}$, se numeşte impuls. ($\vec{p} = m\vec{v}$). Dacă corpul are o mişcare circulară, traectoria avînd raza r, atunci produsul $m\,v\,r$, reprezintă *momentul impulsului* numit şi *moment cinetic*.

$$K = m\,v\,r$$

sau

$$\vec{K} = j \cdot \vec{\omega}$$

Tot în mecanică se mai arată că momentul impulsului se conservă. Următoarea experienţă aparţinînd lui Prandl pune în evidenţă conservarea momentului impulsului: pe un scaun ce se poate roti în jurul unei axe verticale stă un experimentator, ţinînd în mînă o roată cu axa orizontală. Un al doilea experimentator, din exterior, pune în mişcare roata. Cînd experimentatorul de pe scaun aduce roata cu axul în poziţie verticală, atunci scaunul cu experimentatorul se pune în mişcare în sens contrar sensului de mişcare a roţii. Dacă se aduce în poziţia iniţială (cu axul orizontal) scaunul se opreşte. Aducînd din nou axul roţii în poziţie verticală, dar rotit cu 180° faţă de prima situaţie, scaunul se pune din nou în mişcare, tot în sens contrar sensului de mişcare a roţii, dar invers cu cazul anterior. Totul se petrece ca şi cum scaunul ar vrea să se opună mişcării roţii.

Să revenim la experienţa Einstein — De Haas.

Cînd se închide circuitul bobinelor, cîmpul magnetic ce ia naştere la trecerea curentului prin spirele acestora, face ca curenţii amperici să se orienteze cu momentul lor magnetic paralel cu cîmpul magnetizant. Planele curenţilor sînt paralele şi ortogonale pe axa cilindrului. Curenţii avînd un anume sens, cilindrul se pune în mişcare de rotaţie în sens contrar. Cînd schimbăm sensul curentului prin bobine, momentele magnetice ale curenţilor amperici se rotesc cu 180°, redevenind paralele cu cîmpul magnetizant. Sensul curenţilor amperici este acum contrar celui anterior şi de aceea cilindrul se roteşte în sens invers faţă de primul caz.

Existenţa curenţilor amperici, a fost verificată şi de către Barnett în 1914 (publicată în 1915), Ioffe şi Kapiţa în 1917. Pentru înţelegerea experienţei lui Barnett pe care o redăm în cele ce urmează, vom descrie mai întîi următoarea experienţă simplă: o sfîrleză este pusă în mişcare de rotaţie pe un disc ce poate fi rotit în jurul unei axe. Se observă că atunci cînd discul este pus în mişcare de rotaţie, în jurul axei xx', sfîrleaza ia direcţia acestei axe (fig. 3).

În 1914, Barnett imprimă unei bare de fier o rotaţie în jurul axei sale cu o frecvenţă de 100 de rotaţii pe secundă. Curenţii amperici, în interiorul barei, sînt iniţial orientaţi haotic. Prin rotirea barei, era de aşteptat ca bara să se magnetizeze datorită orientării acestor curenţi paraleli între ei şi cu planele lor perpendiculare pe axa barei, întocmai ca în cazul sfîrlezei, rolul sfîrlezei avîndu-l curenţii amperici. Experienţele au arătat că într-adevăr bara de fier se magnetizează, confirmîndu-se astfel ipoteza existenţei curenţilor amperici. Se observă că experienţa lui Barnett este reciproca experienţei lui Einstein şi De Haas.

2. Se ştie că atunci cînd 2 magneţi sînt aduşi în apropiere, între ei, se manifestă o forţă de respingere sau de atracţie după cum polii au acelaşi

nume sau nume contrar. Explicaţia acestui fenomen se dă pe baza interacţiunii dintre doi curenţi electrici. Se cunoaşte că două conductoare paralele străbătute de curenţi cu acelaşi sens se atrag reciproc, iar dacă sensurile sînt contrare, ele se resping reciproc.

S-a arătat la început, că în cazul magneţilor existenţa curenţilor amperici dă naştere unui curent echivalent care circulă pe suprafaţa magnetului, întocmai ca un curent solenoidal. În fig. 4 se arată interacţiunea dintre aceşti curenţi în cazul magneţilor avînd poli cu acelaşi nume şi cu nume contrare , faţă în faţă.

3. Cu ajutorul curenţilor amperici se poate explica de ce forţa de atracţie a unui magnet se manifestă numai la capete la mijloc fiind nulă.

Să considerăm o bară magnet; fig. 5; curenţii amperici echivalează cu nişte magneţi elementari dispuşi în interiorul barei.

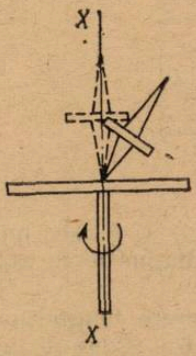


Fig. 3

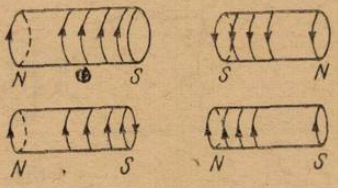


Fig. 4

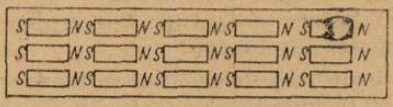


Fig. 5

Se observă că în apropierea unui pol nord există întotdeauna un pol sud, efectele lor anulîndu-se reciproc, pe toată lungimea barei, cu excepţia capetelor unde există doar cîte un singur pol ce-şi poate manifesta forţa de atracţie.

4. Am arătat mai sus că magnetismul magneţilor se explică prin existenţa curenţilor amperici, curenţi ce sînt daţi de mişcarea orbitală a electronilor în jurul nucleelor atomilor respectivi pentru substanţele paramagnetice precum şi, mai ales, prin existenţa mişcării de rotaţie a electronilor în jurul propriilor lor axe (spin) pentru substanţele feromagnetice.

Deoarece în orice substanţă electronii atomilor au aceste mişcări, rezultă că orice substanţă trebuie să prezinte efecte magnetice mai mult sau mai puţin intense. La majoritatea substanţelor efectele magnetice sînt însă, foarte slabe.

Efecte magnetice puternice se constată la fier, cobalt, nichel şi unii oxizi. Aceste substanţe cu efecte magnetice intense se numesc *feromagnetice*. În funcţie de μ şi χ substanţele se împart în trei grupe :

a) grupa substanţelor paramagnetice;
b) grupa substanţelor diamagnetice;
c) grupa substanţelor feromagnetice.

a. *Substanţe paramagnetice.*

Acestea se caracterizează prin $\mu > \mu_0$ şi susceptibilitatea magnetică χ care verifică inegalităţile $0 \leqslant \chi \leqslant 1$. Introduse într-un cîmp

magnetic se magnetizează în același sens cu cîmpul. La aproape toate substanțele paramagnetice χ este invers proporțional cu temperatura absolută după legea lui Curie :

$$\chi = \frac{C}{T}\rho$$

unde C = constanta lui Curie
T = temperatura absolută
ρ = densitatea substanței.

La sodiu, χ nu depinde de temperatură.

Dăm aici cîteva substanțe paramagnetice, metale : platină, sodiu, potasiu, aluminiu, crom, mangan ; gaze : oxigen, ozon ; săruri : săruri de crom, de mangan, de fier, de nichel, de cobalt.

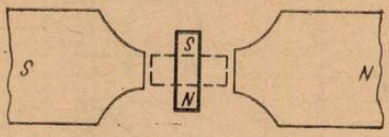


Fig. 6

b. Substanțele avînd $\mu < \mu_0$ și $-1 \leqslant \chi \leqslant 0$ se numesc *diamagnetice*. Aceste substanțe, introduse în cîmp magnetic se magnetizează în sens invers cu cîmpul.

Un bastonaș de bismut introdus într-un cîmp magnetic este rotit pînă devine perpendicular pe liniile de cîmp. (fig. 6). Exemple de substanțe diamagnetice : bismut, cupru, argint, aur, toate nemetalele exclusiv oxigenul.

Substanțele anorganice : apa, hidrogenul. Corpul omenesc este alcătuit în majoritate din substanțe diamagnetice. Aceasta înseamnă că suspendînd un om orizontal într-un cîmp magnetic intens, acesta s-ar orienta perpendicular pe liniile de cîmp magnetic ca orice substanță diamagnetică.

Studiul experimental al diamagnetismului l-a condus pe Pierre Curie în 1885 la următoarele legi : 1/Diamagnetismul este aproape întotdeauna independent de temperatură și de valoarea cîmpului magnetic ; 2/ Diamagnetismul este adesea independent de starea fizică a substanței ; excepție face bismutul ; 3/ Susceptibilitatea magnetică este negativă.

c. O grupă specială o formează *substanțele feromagnetice* la care $\mu \gg \mu_0$ și $\chi > 1$ depinde de valoarea H a cîmpului magnetizant și de stările magnetice anterioare.

Feromagnetismul*

Spre deosebire de substanțele dia și paramagnetice, la substanțele feromagnetice momentul magnetic al moleculelor este foarte mare. De aceea moleculele lor se comportă ca niște magneți elementari.

Substanțele feromagnetice se magnetizează în același sens cu cîmpul, ca și substanțele paramagnetice.

La substanțele feromagnetice însă χ este foarte mare.

*) Cercetări în acest domeniu au fost făcute de către fizicienii români St. Procopiu și A. Cișman.

Pentru o valoare mică a lui H, magnetizarea M** capătă valori foarte mari, iar sensul este același cu al cîmpului. Feromagnetismul se poate considera ca un tip particular de paramagnetism. Deoarece la substanțele feromagnetice $\chi \gg 1$, acestea pot deveni magneți permanenți.

Între magneții elementari din substanțele feromagnetice există forțe de interacțiune numite *forțe de schimb*, care au tendința de a așeza magneții elementari vecini paraleli între ei. Așa se explică existența unor regiuni magnetizate spontan, pînă la saturație, numite *„domenii de magnetizare spontană"* sau *domenii Weiss*.

Un domeniu Weiss cuprinde milioane de atomi, mărimea lui depinzînd de o serie de parametri. La unele substanțe, domeniile Weiss au formă de bară. Bloch a arătat că între suprafețele ce separă diferite domenii există anumite intervale denumite „pereți". Se poate spune că domeniile lui Weiss sînt niște magneți mici, avînd dimeniuni mult mai mari ca ale moleculelor. Aceasta a condus la considerarea producerii fenomenelor feromagnetice la scara micro-cristalelor.

Știut este că fierul cristalizează în sistemul cubic și că aceste cristale au șase axe rectangulare principale care sînt în același timp axe de ușoară magnetizare. În mod spontan momentul magnetic al unui domeniu se orientează după direcția uneia din aceste axe.

Numărul domeniilor avînd polaritate într-un sens este egal cu numărul domeniilor cu polaritate în sens contrar, încît momentul magnetic rezultant este nul. În fig. 7, este arătată o bucată de fier nemagnetizată. Sensul momentului magnetic este reprezentat prin săgeți. Semnul ⊙ arată că sensul momentului magnetic este dirijat de la figură către cititor, perpendicular pe planul figurii, iar semnul ⊕ arată că sensul momentului magnetic este dirijat de la cititor spre figură, tot perpendicular pe planul figurii.

Plasăm bucata de fier într-un cîmp de excitație magnetică de intensitate H, una din axele de ușoară magnetizare a cristalului fiind paralelă cu cîmpul de excitație. Domeniile a căror polaritate nu corespunde cu sensul cîmpului de excitație în care este introdus metalul, se rotesc,

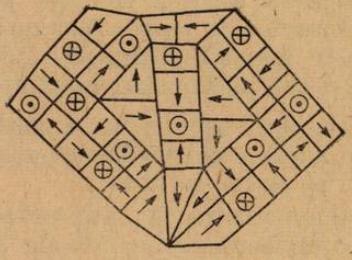


Fig. 7

tinzînd ca direcția lor să devină paralelă cu cîmpul, iar sensul lor să devină același cu al cîmpului de excitație ($\vec{H}$). Se înțelege că, cu cît va fi cîmpul mai intens cu atît multe domenii se vor orienta după direcția și sensul cîmpului. Pentru o anumită valoare a lui H, toate domeniile

**) Magnetizarea M este compusă din magnetizarea permanentă M , cazul substanțelor feromagnetice (magneți permanenți) și magnetizarea temporară M , pentru toate corpurile ce se află într-un cîmp magnetic.

vor fi orientate după direcţia şi sensul cîmpului. Avem *magnetizarea dură* (fig. 8). În această situaţie se spune că s-a ajuns la *saturaţie*. Creşterea cîmpului de excitaţie ($\vec{H}$), face ca limita dintre diferitele domenii (zone) Weiss să se deplaseze; fenomenul este cunoscut sub denumirea „deplasarea peretelui";. Această deplasare a peretelui persistă parţial şi atunci cînd cîmpul de excitaţie magnetică scade. Aşa se explică existenţa magnetismului remanent (retentivitate).

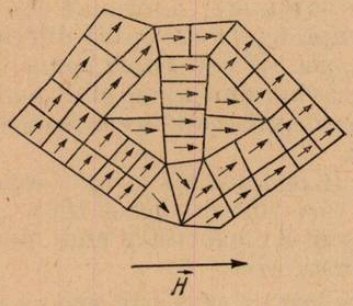


Fig. 8

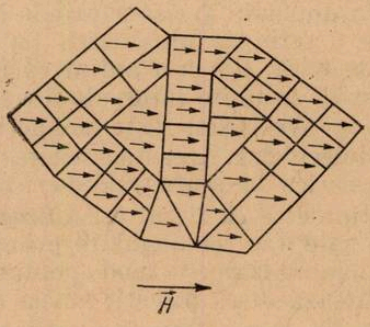


Fig. 9

Dacă după scoaterea din cîmp domeniile rămîn orientate se spune că bucata de fier a devenit magnet permanent. Cînd cîmpul e mai puţin intens orientarea se face ca în figura 9; avem *magnetizare uşoară*. Facem menţiunea că în acest caz, orientarea domeniilor se face paralel cu axele de uşoară magnetizare pentru cele care diferă de direcţia cîmpului $\vec{H}$. Orientarea domeniilor se face în salturi, nu în mod continuu. Aceasta explică efectul Barckhausen pe care-l vom descrie în cele ce urmează.

Experienţa arată că şocurile mecanice ca şi căldura transmisă din exterior, tind să strice orientarea domeniilor. La un anume şoc sau la o anume temperatură poate să dispară complet proprietăţile magnetice, adică toate domeniile să revină la starea anterioară magnetizării. O experienţă simplă dovedeşte această afirmaţie: într-o eprubetă de sticlă introducem pilitură de fier şi o plasăm într-un cîmp de excitaţie magnetică $\vec{H}$. După ce o scoatem din cîmp se constată existenţa celor doi poli magnetici, nord şi sud. Dacă agităm sau încălzim puţin eprubeta, cei doi poli dispar, deci totul revine la starea iniţială.

Există o anume temperatură la care proprietăţile feromagnetice dispar. Aşa de pildă la oţel temperatura este de 770° C, la nichel 360°C, iar la cobalt 1000°C. Aceste temperaturi au primit denumirea de *puncte Curie*.

După ce substanţele feromagnetice au atins punctul Curie ele devin paramagnetice. Pentru punerea în evidenţă a domeniilor de magnetizare spontană, Bitter şi Akulov au folosit în 1932, independent unul de altul, următorul procedeu: pe o suprafaţă bine şlefuită a unei substanţe feromagnetice au pus o picătură de alcool conţinînd o pulbere extrem de fină de magnetită sau altă substanţă feromagnetică. Particulele în suspensie sînt atrase înspre regiunile în care cîmpul magnetic este mai puternic. Aceste regiuni sînt tocmai liniile de intersecţie ale pereţilor Bloch cu supra-

fața metalului, regiuni ce conturează pe suprafața acestuia domeniile Weiss. Domeniile superficiale se pot deosebi de cele interioare datorită faptului că primele sînt foarte sensibile la agenți exteriori.

Efectul Barkhausen

Fie o substanță feromagnetică plasată într-un cîmp magnetic H crescător. Dacă substanța se găsește în interiorul unei bobine și aceasta legată la un difuzor prin intermediul unui amplificator, și apropiem un

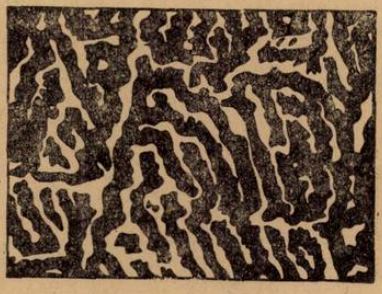


Fig. 10

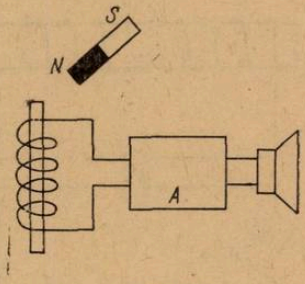


Fig. 11

magnet permanent, atunci se aude la difuzor un zgomot care amintește pe acela produs de descărcarea unei căruțe cu pietriș. Zgomotul mai seamănă cu acela produs de ruperea unei bucăți de hîrtie și se aude atît la orientarea domeniilor de „magnetizare spontană" cît și la revenirea lor la starea inițială. Acest fenomen este cunoscut sub numele de efectul Barkhausen *) descoperit în 1919 de către fizicianul german H. Barkhausen.

Acest efect se mai poate obține și astfel:

a) lovind o bucată de fier nemagnetizată;
b) prin vibrația unui diapazon ori a unei lame elastice;
c) prin îndoirea unui fir de fier;
d) prin călirea unei bucăți de oțel;
e) prin răsucirea unei bare de fier.

Dacă se trece un curent alternativ printr-o substanță feromagnetică și simultan se apropie sau se depărtează un magnet de substanța respectivă, atunci efectul Barkhausen este foarte puternic. Importanța acestui efect este extrem de mare deoarece este singurul fenomen prin care se evidențiază procesul magnetic intim. Datorită efectului Barkhausen se poate determina timpul necesar orientării unui domeniu. Acest timp este de ordinul a 10^{-7} s.

Explicația magnetizării spontane pe baza mecanicii cuantice a fost dată de către Frenkel și Heisenberg.

Important de reținut este faptul că atunci cînd punctul Curie este depășit, domeniile de magnetizare spontană și efectul Barkhausen dispar.

---

*) Cercetări privind efectul Barkhausen au fost efectuate în țara noastră de către Acad. prof. dr. docent St. Procopiu.

Magnetizarea fierului; fenomenul hysterezis.

Să considerăm o bară de fier introdusă într-o bobină şi aceasta în legătură cu un circuit prin intermediul unui întrerupător-inversor. Cu ajutorul reostatului mărim intensitatea curentului electric din bobină ceea ce face să crească H (fig. 12). Dar creşterea intensităţii cîmpului de excitaţie magnetică H atrage după sine creşterea magnetizării M.

Aşa dar, pe măsură ce intensitatea curentului creşte, creşte şi H şi o dată cu el creşte M. S-a constat că de la o anumită valoare a lui H (H_s) magnetizarea M rămîne constantă, cu toate că H variază în continuare. Curba OP a variaţiei lui M funcţie de H din figura 13 reprezintă *curba*

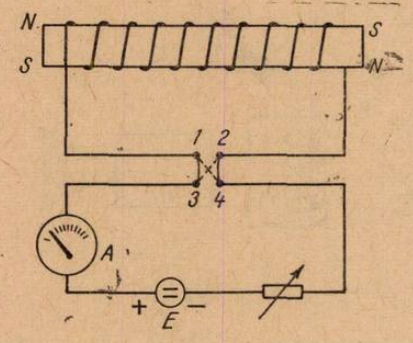


Fig. 12

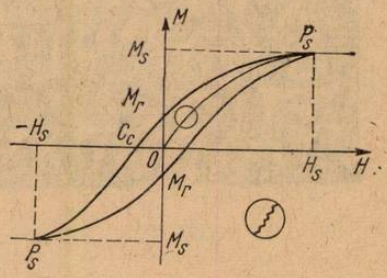


Fig. 13

de magnetizare iniţială sau de primă magnetizare. În tot acest interval de timp a avut loc procesul de orientare ordonată a domeniilor Weiss. În punctul P magnetizarea M rămîne constantă ceea ce înseamnă că toate domeniile de magnetizare spontană s-au orientat. Avem fenomenul de saturaţie. P, se numeşte punct de saturaţie. Curba OP se obţine dacă în prealabil substanţa a fost demagnetizată.

Dacă micşorăm curentul I, se micşorează H şi deci şi M, dar nu în aceeaşi măsură. Aşa de pildă cînd H se anulează, M are o anumită valoare numită *magnetizare remanentă* sau *retentivitate*. Aceasta înseamnă că o parte din domeniile Weiss îşi mai menţin orientarea ordonată. Pentru ca M să scadă pînă la zero trebuie ca H să ia valori negative, adică să-i schimbăm sensul. Valoarea lui H (negativă) pentru care $M = 0$ se numeşte *cîmp coercitiv*. Mărind pe H în valoare absolută pînă la H_s, M capătă valori negative, ajungînd din nou la saturaţie în P'.

Dacă micşorăm apoi pe I, se micşorează şi H în valoare absolută, iar M rămîne de asemenea în urma lui H şi pentru $H = 0$ avem din nou magnetizare remanentă Mr.

Schimbînd apoi sensul lui I şi făcînd să crească H, va creşte şi M pînă va ajunge din nou la saturaţie. În punctul P se ajunge numai cînd se porneşte din originea axelor de coordonate (substanţă nemagnetizată). Ori în cazul de faţă s-a ajuns la saturaţie plecînd din punctul de magnetizare remanentă. Înseamnă că la întoarcere punctul de saturaţie se va apropia de P dar nu va coincide cu el. În P se ajunge după cca. 10 magnetizări şi demagnetizări succesive.

Fenomenul rămînerii în urmă a magnetizării faţă de intensitatea vectorului excitaţie magnetică H, a fost denumit *hysterezis* (Ewing 1881).

Curba închisă astfel obținută definește *ciclul de hysterezis.*

S-a arătat că în timpul magnetizării substanțelor feromagnetice se produce orientarea ordonantă a domeniilor Weiss. În timpul orientării însă, trebuie învinse frecările interioare. Pentru aceasta, substanța absoarbe energia necesară din cîmpul magnetic. Energia astfel absorbită, proporțională cu suprafața ciclului, cunoscută sub numele de *pierderi prin hysterezis*, se transformă în căldură. De aceea substanța de încălzește.

Cu cît suprafața închisă de ciclul hysterezis este mai mică cu atît pierderile prin hysterezis sînt mai mici. În acest scop se introduce siliciu în fier, în proporție de 4—5%. Aceasta face ca să crească μ și să micșoreze cîmpul coercitiv, deci să se micșoreze suprafața ciclului de magnetizare (hysterezis). De aceea cel mai utilizat material magnetic este oțelul cu siliciu.

Cunoașterea ciclului de magnetizare al unei substanțe este foarte importantă în practica electrotehnică. În funcție de aceasta se alege materialul necesar construcțiilor de aparate electrice, motoare electrice etc.

Așa de pildă, pentru magneții permanenți se folosesc materiale cu magnetizare remanentă și cîmp coercitiv mari, pentru a nu fi influențați de acțiunea demagnetizantă a unor eventuale cîmpuri exterioare. În construcția dinamurilor materialul trebuie să aibă cîmp coercitiv mic și magnetizare remanentă mare. Cel mai bun criteriu de apreciere a unui magnet permanent este produsul (B.H.) max. Materialul cu cea mai mare valoare a produsului (B.H) max. este alnico 5 (51% Fe, 24% Co, 14% Ni, 8% Al., 3% Cu). $(BH)_{max} = 36.000 \frac{J}{m^3}$ pentru o inducție de 1 tesla, rentetivitatea este de 1,25 tesla, coercivitatea de 44.000 A/m.

În concluzie, la materialele folosite în construcții de mașini electrice trebuie să se cunoască :

— magnetizarea remanentă
— cîmpul coercitiv
— curba de magnetizare

În medalion se arată treptele Barkhausen. Pe porțiunea de curbă cu pantă mare treptele sînt mai mari.

Materiale magnetice uzuale

Materialul	Retentivitatea T	Coercivitatea (BH)	
		A/m	J/m^3
— Oțel cu crom (98% Fe; 0,9% Cr., 0,6% Co., 0,4% Mn.)	1,0	4.000	1.600
— Oxizi (ferite) (57% Fe., 28% O., 15% Co.)	0,2	72.000	4.800
— Alnico 2 (55% Fe., 12% Co., 17% Ni., 10 % Al., 6% Cu.)	0,7	44.800	13.600
— Platin-Cobalt (77/Pt. 23% Cu)	0,4	200.000	30.400
— Alnico 5 (51% Fe., 24% Co, 14% Ni., 8% Al., 3% Cu).	1,25	44,000	36.000

Alte materiale feromagnetice utilizate sînt permaloy-urile (aliaje de nichel-fier). Denumirea de permaloy derivă de la faptul că aceste aliaje au permeabilitate mare. Calitățile aliajelor de Fe—Ni, au fost observate încă din 1910 de către Panebianco, iar în 1923 după o muncă titanică.

Arnold şi Elmen reuşesc să obţină un material magnetic destinat krarupizării, (acoperirea cablurilor cu un strat de material magnetic, care să le mărească inductivitatea).

Demagnetizarea magneţilor permanenţi

Sub această denumire vom înţelege procesul de micşorare sau de reducere la zero a retentivităţii.

Demagnetizarea poate fi privită ca un proces dorit sau nedorit. În primul caz piesele care accidental au fost magnetizate, piesele unui ceasornic bunăoară, trebuiesc supuse procesului de demagnetizare pentru revenirea la starea normală iniţială. În al doilea caz însă, cînd vrem ca rentetivitatea magneţilor să se menţină timp îndelungat, procesul de demagnetizare trebuie redus la minimum posibil. În cazul magneţilor permanenţi, procesul demagnetizării decurge în mod spontan. Prin micşo-

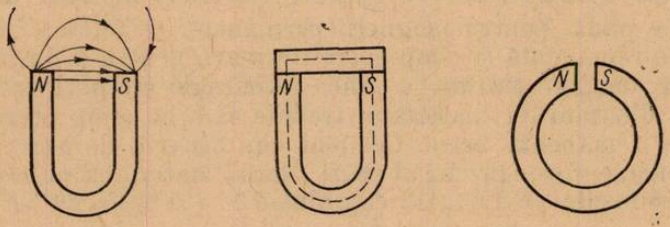


Fig. 14

rarea întrefierului dintre polii magnetului, se reduce tendinţa naturală de demagnetizare. Micşorarea întrefierului se realizează prin construcţii de magneţi de formă specială, de exemplu sub formă de U, sau închizînd liniile de cîmp printr-o punte de metal magnetic, care se numeşte armătură (fig. 14). Se mai construiesc magneţi toroidali, folosiţi în construcţir unor instrumente de măsură (fig. 14).

Antiferomagnetism*)

Fenomenul de antiferomagnetizare îl prezintă substanţele cristaline în care magneţi elementari vecini, dintr-un domeniu Weiss, sînt orientaţi în mod spontan antiparalel atunci cînd substanţa respectivă nu se află într-un cîmp magnetic.

Prin urmare, deosebirea dintre substanţele feromagnetice şi antiferomagnetice constă în faptul că primele cuprind magneţi elementari orientaţi paralel între ei, în timp ce celelalte — antiferomagnetice — cuprind magneţi elementar orientaţi antiparalel, într-un domeniu Weiss.

Într-un cîmp magnetic exterior comportarea substanţelor antiferomagnetice se aseamănă foarte mult cu aceea a paramagneticelor (magneti zarea lor deviază foarte puţin de la situaţia antiparalelă) cu singura precizare că dependenţa susceptibilităţii lor de temperatură este aceeaşi cu a feromagneticelor.

Sînt substanţe care plasate în cîmpuri intense se comportă ca substanţe feromagnetice, iar dacă sînt introduse în cîmpuri mai puţin intense se comportă ca substanţe antiferomagnetice. Astfel de substanţe cu dublă

*) Cu astfel de fenomene s-au ocupat în ţara noastră fizicienii V. Marian şi I. Maxim.

comportare în cîmp magnetic au primit denumirea de *metamagnetice*. Din această categorie fac parte : Cu Cl_2, Ni Cl_2, Fe Cl_2, Co Cl_2, Mn An_2*

Pe lîngă categoriile mai sus amintite mai există unele substanţe la care, atunci cînd sînt plasate într-un cîmp magnetic o parte din magneţii elementari se orientează paralel în acelaşi sens cu cîmpul, iar o parte în sens opus cîmpului magnetizant. Magnetismul unor astfel de substanţe apare din diferenţa magnetizării în cele două sensuri opuse. Substanţele avînd o astfel de comportare se numesc *ferimagnetice*, denumire provenind de la aceea a feritelor cu a căror comportare se aseamănă. Ferimagnetismul, antiferomagnetismul precum şi feromagnetismul la temperaturi joase, se pot trata cu ajutorul teoriei undelor de spin dată de Bloch în 1930. Undele de spin corespund unor particule numite *feromagnoni*. Cu ajutorul feromagnonilor se explică modificarea energiei la corpurile feromagnetice prin abaterea de la aranjarea paralelă a spinilor datorită agitaţiei termice.

BIBLIOGRAFIE

[1] — Electricitatea : *Th. Ionescu*, Ed. didactică şi pedagogică Bucureşti, 1962.
[2] — Fizică generală vol. II, *S. E. Friş şi A. V. Timoreva*, Ed. teh. Buc. 1952.
[3] — Curs de electrotehnică şi maşini electrice p. I. de *I. C. Moisil*, ed. Inst. Politehnic Galaţi
[4] — Curs Fizichi de *K. A. Putilov*, Moscova 1962.
[5] — Bazele teoriei electricităţii, *I. F. Tamm*, Ed. Tehn. Buc. 1953.
[6] — Curs fizichi, *R. I. Trabobekin*, Moscova 1963.
[7] — Electricitate şi magnetism, vol. I şi II. *St. Procopiu*, Ed. laboratorului de electricitate, Univ. Iaşi, 1952 şi respectiv 1939.
[8] — Introducere în fizica solidului, *V. Sergiescu*, Biblioteca Societăţii de şt, matematice şi fizice din R..P.R. Ed. tehn. 1956.
[9] — Revista de fizică şi chimie, seria A, vol. IV, nr. 1 ianuarie 1967.
[10] — Revista de fizică şi chimice, seria A., vol. II Nr. 9 sept. 1965.
[11] — Istoria fizicii, *V. Novacu*, Ed. didactică şi pedagogică Bucureşti, 1966.
[12] — Electricitatea (curs de fizică generală) vol. II de *M. Atanasiu* Ed. Inst. pedagogic Galaţi. 1965.
[13] — Fizică generală — Electricitate — de *Gh. Huţanu* Ed. Institutului pedagogic Galaţi.
[14] — Introducere în teoria metalelor de *I. I. Frenkel* Ed. tehn. Bucureşti, 1954.
[15] — Cours d'electricité générale, de *E. Handié* Tome I, II et III, 1929 Paris. Societe d'editions Geographiques, Maritimes et Colonieles
[16] — Electrostatique et magnetostatique de *E. Duraud*, Ed. Mosson, Paris 1959.
[17] — Tratato elementare di Fizica, de *Orneste Murani*, volume secondo, 1917 ; 1924. *Ubrico Hoepli*, Milano
[18] — Electricité de *G. Bruhat*, Ed. Masson. Paris 1965.
[19] — *S. V. Vonsovschi* i *Ia G. Sur*, Feromagnetizm OGIZ, M—JL, 1948.

TIMPUL DE VIAŢĂ A PURTĂTORILOR DE SARCINĂ ÎN SEMICONDUCTORI (I)

V. DOLOCAN Universitatea Bucureşti, Facultatea de Fizică

Timpul de viaţă este parametrul care caracterizează fenomenele de recombinare al purtătorilor de sarcină de neechilibru în semiconductori. Aceste fenomene joacă un mare rol în răspunsul semiconductorului la excitaţia externă. De aceea cunoaşterea timpului de viaţă prezintă o

* Policristale de $MnAn_2$ în cîmpul slabe pînă la 3000 de dau rezultate antiferomagnetice. La temperaturi de peste 90°C, policristalele de $MnAn^7$ se comportă paramagnetic.

deosebită importanţă. Din dependenţa timpului de viaţă de temperatură se pot determina unele caracteristici ale semiconductorului, ca poziţia nivelelor energetice creeate de impurităţi sau defecte în zona interzisă, secţiunile de captură, etc.

I. Purtători de neechilibru. Timp de viaţă.

În semiconductori şi izolatori, spre deosebire de metale' pentru a creea purtători liberi e necesar să cheltuim o energie cel puţin egală cu lărgimea zonei interzise (în cazul ionizării atomilor reţelei de bază) sau cu energia de ionizare a atomilor de impurităţi. Procesul de creere a purtătorilor liberi poate avea loc în mai multe moduri: ionizare tehnică, ionizare prin acţiunea luminii (efectul fotoelectric intern) sau alte particule, ionizarea prin ciocnire în cîmp electric puternic, injecţie la contacte redresoare, etc. În cazul ionizării termice purtătorii liberi au practic aceiaşi temperatură cu a reţelei cristaline şi aceşti purtători se numesc „de echilibru".

În cazul celorlalte fenomene de ionizare energia cheltuită se transmite numai electronilor în timp ce energia medie a reţelei rămîne neschimbată; de aceea se strică echilibrul între electroni şi reţea şi purtătorii creeaţi se numesc purtători „de neechilibru". Dacă notăm cu n_0, p_0, concentraţia electronilor şi, respectiv, găurilor la neechilibru iar cu Δn, Δp concentraţiile purtătorilor de neechilibru creaţi de exemplu prin iluminare, atunci concentraţia totală a electronilor şi găurilor se scrie:

$$n = n_0 + \Delta n \tag{1}$$
$$p = p_0 + \Delta p$$

Concentraţia purtătorilor de echilibru la o temperatură dată este determinată de poziţia nivelului Fermi. La neechilibru se introduce de asemenea un nivel energetic pentru a caracteriza concentraţia totală a electronilor şi găurilor după cum reiese din următoarele relaţii:

$$n = n_0 + \Delta n = N_c e^{-\frac{E_c - F_n}{KT}}$$
$$p = p_0 + \Delta p = N_v e^{-\frac{F_p - E_r}{KT}} \tag{2}$$

unde N_c, N_v sînt densităţile de stări din banda de conducţie şi, respectiv, din banda de valenţă; E_c, E_v, reprezintă marginea inferioară a benzii de conducţie şi respectiv, marginea superioară a benzii de valenţă. F_n şi F_p se numesc cuasinivele Fermi şi ele sînt diferite pentru cele două zone (spre deosebire de cazul echilibrului) şi diferă chiar pentru fiecare stare energetică locală.

După încetarea agentului ionizator se restabileşte echilibrul între electroni şi reţea, electronii şi găurile de neechilibru dispar, recombină. Variaţia în timp a concentraţiei purtătorilor de neechilibru din momentul încetării iluminării va fi proporţională cu concentraţia acestora

$$\frac{d(\Delta n)}{dt} = -\frac{\Delta n}{\tau} \tag{3}$$

Semnul minus arată că variaţia concentraţiei are loc în sensul descreşterii acesteia. Mărimea τ are dimensiunile unui timp şi scriind soluţia ecuaţiei (3)

$$\Delta n = (\Delta n)_0 e^{-t/\tau} \tag{4}$$

se observă ca τ este timpul după care concentrația purtătorilor de neechilibru scade de „e" ori.

τ este timpul de viață a purtătorilor și variază în limitele $10^{-2}-10^{-7}$ secunde. El reprezintă practic timpul cît purtătorii de nechilibru se află în stare liberă adică din momentul generării pînă în momentul recombinării.

Din punct de vedere microscopic timpul de viață al purtătorilor de sarcină poate fi introdus astfel. Considerăm că există o secțiune de captură (recombinare), Sn, a electronului de către gaură. Dacă notăm cu p concentrația găurilor și cu v viteza relativă a electronului față de numărul de ciocniri ale electronului cu găurile în unitatea de timp este $pS_n v_n$. Timpul mediu între două ciocniri

$$\tau_n = \frac{1}{pS_n v_n}$$

este timpul de viață a electronului, deoarece fiecare ciocnire se soldează cu captura electronului de către gaură (recombinare). Dacă există mai multe categorii (sorturi) de găuri (găuri libere în banda de valență, găuri localizate pe impurități, defecte), de concentrație p_j secțiune de captură S_{nj} și viteza relativă v_{nj}, atunci numărul total de ciocniri posibile ale electronului în unitatea de timp este egal cu suma

$$\sum_j p_j S_{nj} v_j$$

și timpul de viață al electronului

$$\frac{1}{\tau_n} = \sum_j \frac{1}{\tau_{nj}} \tag{5}$$

Rezultă că dacă există mai multe tipuri de centre de captură, inversul timpului de viață total este egal cu suma inverselor timpilor de viață corespunzătoare recombinării pe fiecare tip de centru. Analog, pentru timpul de viață a gaurilor τ_{pj}, avem

$$\tau_{pj} = \frac{1}{n_j S_{pj} v_{pj}} \tag{6}$$

unde am notat cu n_j concentrația electronilor, cu S_{pj} secțiunea de captură a găurii de către electroni și cu v_{pj} viteza relativă a găurii față de electroni.

Intensitatea de recombinare (captura) este egală cu numărul de acte de recombinări în unitatea de timp, adică cu produsul dintre concentrația purtătorilor de nechilibru (Δn sau Δp) și numărul de ciocniri ale unui purtător în unitatea de timp în care se mediază $S_{nj} v_{nj}$ și $S_{pj} v_{pj}$ respectiv, pentru electroni și găuri. Dacă notăm cu U_{nj} rata de recombinare a electronilor și cu U_{pj} rata de recombinare a găurilor, avînd în vedere cele spuse mai sus obținem

$$U_{nj} = \frac{\Delta n}{\tau_{nj}}$$
$$U_{pj} = \frac{\Delta p}{\tau_{pj}} \tag{7}$$

Timpul de viaţă, definind coeficienţii de captură

$$\gamma_{pj} = \overline{S_{nj} v_{nj}}$$
$$\gamma_{pj} = \overline{S_{pj} v_{pj}} \tag{8}$$

se mai scrie

$$\tau_{nj} = \frac{1}{\gamma_{nj} p_j}$$
$$\tau_{pj} = \frac{1}{\gamma_{pj} n_j} \tag{9}$$

Se constată că întrucît timpul de viaţă este dependent de n_j, p_j nu este o constantă a materialului şi poate să varieze în timp cu variaţia temperaturii, a intensităţii de iluminare, etc. Menţionăm că distribuţia energetică a purtătorilor de neechilibru şi energia lor medie este aceeaşi cu a purtătorilor de echilibru. O evaluare simplă ne duce la o asemenea concluzie. Dacă un electron creeat prin absorbţia unui foton de energie mare ($h\nu$) are o energie mai mare cu ~ 1V decît energia purtătorilor de echilibru (care este de ordinul kT) el cedează surplusul de energie după -10^3 ciocniri [1] Considerînd că electronul are o viteză de 10^7 cm/sec. şi un drum liber mijlociu de 10^{-6} cm, el cedează surplusul de energie într-un timp de 10^{-10} sec. Cum timpul de viaţă este mult mai mare de 10^{-10} sec ($\tau \sim 10^{-2} - 10^{-7}$ sec) rezultă că cea mai mare parte din viaţa lor purtătorii de neechilibru au aceeaşi distribuţie energetică şi aceeaşi energie madie pe purtător cu a purtătorilor de echilibru. Prin urmare şi mobilitatea purtătorilor de neechilibru este egală cu a celor de echilibru şi deci şi în cazul celor dintîi se aplică legea lui Einstein care leagă mobilitatea μ de coeficientul de difuzie D

$$\frac{D}{\mu} = \frac{K T}{e}$$

k = constanta lui Boltzmann, T = temperatura, e = sarcina electronului.

II. Timpul de viaţa fotoconductiv şi timpul de viaţă fotoelectromagnetic

La iluminarea semiconductorului conductibilitatea acestuia variază şi aceasta variaţie a conductibilităţii se numeşte fotoconducţie. Dacă simultan cu iluminarea semiconductorului aplicăm un cîmp magnetic perpendicular pe direcţia de iluminare, apare o cădere de tensiune perpendiculară pe direcţia de iluminare şi pe direcţia cîmpului magnetic, numită tensiune fotoelectromagnetică. Considerăm un semiconductor (fig. 1) pe care-l iluminăm de-a lungul axei Oy şi asupra căruia aplicăm un cîmp magnetic pe direcţia axei Oz şi un cîmp electric.

Facem următoarele presupuneri : *a*) concentraţia purtătorilor de neechilibru este mult mai mică decît concentraţia purtătorilor de echilibru (aproximaţia semnalului mic), *b*) lumina este absorbită la suprafaţa semiconductorului, *c*) neglijăm efectul stărilor de suprafaţă, *d*) neglijăm efectele de margine considerînd dimensiunile probei suficient de mari, *e*) mo-

bilitatea, timpii de viaţă şi vitezele de recombinare la suprafaţă ale purtătorilor sînt independente de cîmpul magnetic.

Curenţii de electroni $\vec{J}_n$ şi de găuri $\vec{J}_p$ în aceste condiţii sînt daţi de expresiile [2]

$$\vec{J}_n = eD\nabla n - \mu \vec{J}_n \times \vec{B} + e\mu(n_0 + \Delta n)\vec{E} \qquad (A1)$$

$$b\vec{J}_p = -eD\nabla p + \mu \vec{J}_p \times \vec{B} + e\mu (p_0 + \Delta p)\vec{E} \qquad (A2)$$

$\vec{J}_n$ şi $\vec{J}_p$ sînt curenţii obţinuţi din ecuaţia cinetică a lui Boltzmann pentru cîmp electric şi magnetic, la care se adaugă contribuţia purtătorilor de neechilibru creaţi prin iluminare, Δn, Δp, (concentraţia purtătorilor de sarcină creşte faţă de valoarea de echilibru şi apare şi un termen care reprezintă curentul de difuzie). Am notat D, μ coeficientul de difuzie şi, respectiv, mobilitatea electronilor, b = raportul mobilităţilor electronilor şi găurilor, n_0, p_0, concentraţiile purtătorilor de echilibru.

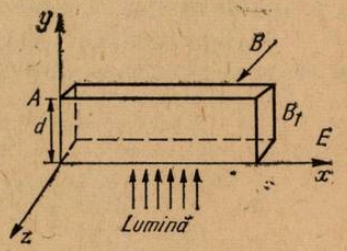


Fig. I Proba semiconductoare în cîmpul luminos, cîmpul magnetic şi cîmpul electric.

Ecuaţiile de continuitate pentru electroni şi găuri se scriu :

$$\frac{\delta n}{\delta t} = \frac{1}{e}\nabla \vec{J}_n - \frac{\Delta n}{\tau_n} \qquad (A3)$$

$$\frac{\delta p}{\delta t} = -\frac{1}{e}\nabla \vec{J}_p - \frac{\Delta p}{\tau_p} \qquad (A4)$$

unde τ_n, τ_p sînt timpii de viaţă ai electronilor şi, respectiv, găurilor. În condiţii staţionare, cînd ratele de recombinare ale electronilor şi găurilor sînt egale, obţinem din ec. (A3) şi (A4)

$$\nabla \vec{J}_n = \frac{e\Delta n}{\tau_n} = -\nabla \vec{J}_p = \frac{e\Delta p}{\tau_p} \qquad (A.5)$$

Dacă există centre de alipire pentru purtători, condiţia de neutralitate a sarcinii cere ca

$$\Delta p = \Delta n + (\Delta n)_t \qquad (A.6)$$

$(\Delta n)_t$ fiind concentraţia electronilor alipiţi.

Din (A5) rezultă că

$$\frac{\Delta n}{\tau_n} = \frac{\Delta p}{\tau_p}$$

şi ţinînd cont de (A6) avem

$$\frac{\tau_p}{\tau_n} = 1 + \frac{(\Delta n)_t}{\Delta n}$$

Această relație arată că timpul de viață a găurilor este egal cu timpul de viață a electronilor numai dacă alipirea purtătorilor este neglijabilă

Notăm că densitatea totală de curent se anulează pe direcția Oy atît la suprafață cît și în interiorul semiconductorului

$$J_{ny} + J_{py} = 0 \tag{A.7}$$

Pentru a găsi expresia curentului electric trebuie să rezolvăm sistemul de ecuații (A1), (A2), (A5). Dacă neglijăm efectele de margine se observă că J_n, J_p, E, n și p variază numai după direcția Oy astfel încît pentru o probă de forma unei plăci problema este bidimensională.

Scriem ecuațiile (A1), (A2), (A5) pe componente ținînd cont de (A7) și că n și p variază numai după direcția Oy :

$$\begin{aligned}
J_{nx} &= -\mu B J_{ny} + e\mu\,(n_0 + \Delta n)\,E_x \\
J_{ny} &= eD\frac{dn}{dy} + \mu B J_{nx} + e\mu\,(n_0 + \Delta n)\,E_y \\
bJ_{px} &= -\mu B J_{ny} + e\mu\,(p_0 + \Delta p)\,E_x \\
bJ_{ny} &= eD\frac{dp}{dy} + \mu B J_{px} - e\mu\,(p_0 + \Delta p)\,E_y \\
\frac{d}{dy}(J_{ny}) &= -\frac{d}{dy}(J_{px}) = \frac{e\,\Delta n}{\tau_n} = \frac{e\,\Delta p}{\tau_p}
\end{aligned} \tag{A.8}$$

Eliminînd din sistemul de ecuații (A8) pe J_{nx}, J_{px} și E_y obținem o ecuație diferențială pentru J_{ny}.

$$J_{ny}[b\,(p_0+\Delta p)\,(1+\mu^2B^2)+(n_0+\Delta n)\,(\mu^2B^2+b^2)] - ebD\,(p_0+\Delta p)\frac{dn}{dy} -$$

$$-ebD\,(n_0+\Delta n)\frac{dp}{dy} - e\mu^2B\,(n_0+\Delta n)\,(p_0+\Delta p)\,(1+b)\,E_x = 0 \tag{A.9}$$

În aproximația semnalului mic de excitare, Δn, $\Delta p \ll n_0$, p_0, neglijăm Δn, Δp din (A9) față de n_0 și p_0 și obținem

$$J_{ny}\,[b\,p_0\,(1+\mu^2B^2) + n_0\,(b^2+\mu^2B^2)] - eb\,Dp_0\frac{dn}{dy} - e\,b\,D\,n_0\frac{dp}{dy} -$$

$$-e\mu^2\,B\,n_0\,p_0\,(1+b)\,E_x = 0 \tag{A.10}$$

Înlocuim în (A.10) pe $\frac{dn}{dy}$ și $\frac{dp}{dy}$ ținînd cont de ultima relație din (A8) rezultă

$$D\,[\tau_p n_0 + \tau_n p_0]J''_{xy} - \left[p_0\,(1+\mu^2\,B^2) + n_0\left(b + \frac{\mu^2\,B^2}{b}\right)\right]J_{nh} = -$$

$$-\left(1+\frac{1}{b}\right)e\mu^2\,B\,n_0\,p_0\,E_x \tag{A.11}$$

Pentru a rezolva această ecuație folosim următoarele condiții la limită

$$\begin{aligned} (y = 0) \quad J_{ny} &= -eI + eS_n \Delta n \\ (y = d) \quad J_{ny} &= -eS_n \Delta n \end{aligned} \tag{A.12}$$

unde s_n este viteza de recombinare a electronilor la suprafață, pe care o considerăm aceeași la ambele suprafețe.

Ec. (A. 12) arată că scăderea suplimentară a concentrației purtătorilor la suprafață trebuie compensată de curenții de difuzie către suprafețe. Notînd cu s_p viteza de recombinare la suprafață a găurilor și avînd în vedere relația (A7) și (A. 12) rezultă că

$$S_n \Delta n = S_p \Delta p \tag{A.13}$$

și folosind ultima relație din (A8) avem

$$S_n \tau_n = S_p \tau_p \tag{A.14}$$

Soluția ecuației (A11) o luăm de forma

$$J_{nj} = Ae^{kj} + Re^{kj} + C \tag{A.15}$$

Înlocuind (A15) în (A11) și identificînd coeficienții obținem valorile lui k și C :

$$K = \frac{\left[p_0 (1 + \mu^2 B^2) + n_0 \left(b + \frac{\mu^2 B^2}{b}\right)\right]^{1/2}}{[D (n_0 \tau_p + p_0 \tau_n)]^{1/2}} = \frac{1}{L_D^*} \tag{A.16}$$

$$C = \frac{e \mu^2 B n_0 p_0 \left(1 + \frac{1}{b}\right) E_x}{p_0 (1 + \mu^2 B^2) + n_0 \left(b + \frac{\mu^2 B^2}{b}\right)} \tag{A.17}$$

unde L_D^* este lungimea de difuzie ambipolară magnetică. Pentru a afla constantele A și R substituim (A15) în (A12) și rezolvînd sistemul de ecuații obținut găsim

$$A = \frac{(eI + C) e^{kd} (1 + S_n \tau_n K) - C (1 - S_n \tau_n K)}{e^{-kd} (1 - S_n \tau_n K)^2 - e^{kd} (1 + s_n \tau_n k)^2} \tag{A.18}$$

$$R = \frac{C (1 + S_n \tau_n K) - (eI + C) e^{-kd} (1 - S_n \tau_n K)}{e^{-kd} (1 - S_n \tau_n k)^2 - e^{kd} (1 + S_n \tau_n K)^2} \tag{A.19}$$

Cu expresiile (A16)–(A19) valoarea curentului J este în întregime determinată și putem în continuare trece la calculul curenților de scurtcircuit și tensiunilor de fotoconducție și fotoelectromagnetică.

I. Fotoconducția

Curentul de fotoconducție de scurtcircuit i_{FC} pe unitatea de lățime a probei se scrie

$$i_{FC} = \int_0^d e (\mu \Delta n + \mu_p \Delta p) E_x dy = e \mu E_x \int_0^d \left(sn + \frac{\Delta p}{b}\right) dy \tag{A.20}$$

Exprimăj Δn, Δp funcție de J'_{nj} folosind ultima relație din (A8), și pe J_{nj} prin (A12) și punem condiția $B = 0$. În aproximația $kd \gg I$ (grosimea probei este mult mai mare decît lungimea de difuzie a purtătorilor) termenii care conțin e^{-kd} se neglijează și curentul i_{CF} are valoarea [3]

$$i_{FC} = \left(1 + \frac{1}{b}\right) e I \mu E_x \frac{\tau_{FC}}{F} \tag{A.21}$$

unde

$$\tau_{FC} = \frac{\tau_n + \frac{\tau_p}{b}}{1 + \frac{1}{b}} \tag{A.22}$$

este timpul de viață fotoconductiv, iar

$$F = \frac{1}{1 + \frac{S_n \tau_n}{L_D^*}} \tag{A.23}$$

este factorul care arată influența recombinării de suprafață și care pentru $s_n = 0$ este egal cu unitatea.

Curentul total prin probă $j_{FC} = l \cdot i_{FC}$, unde l este lățimea probei, iar tensiunea de fotoconducție $V_{FC} = j_{FC} \cdot R$, R fiind rezistența probei. Pentru cazul cînd variația rezistenței probei datorită iluminării este neglijabilă, tensiunea de fotoconducție V_{FC} are expresia

$$V_{FC} = \frac{IL}{p_0 d} \cdot \frac{b+1}{bc+1} \tau_{FC} E_x \frac{1}{F} \tag{A.24}$$

L = lungimea probei.

Cînd $\tau_n = \tau_p$ (în absența fenomenelor de alipire) se vede din (A22) că $\tau_{FC} = \tau_n = \tau_p$. În prezența fenomenelor de alipire timpul de viață a purtătorilor care nu se alipesc este mult mai mare decît timpul de viață a purtătorilor care se alipesc și τ este deci determinat de timpul de viață al purtătorilor care nu se alipesc.

Se arată că în semiconductorii cu masa efectivă a electronilor mult mai mică decît a găurilor, timpul de viață fotoconductiv este determinat de timpul de viață al purătorilor majoritari în condițiile în care concentrațiile de alipire sînt comparabile pentru ambele tipuri de purtători [4].

2. Efectul fotoelectromagnetic

În efectul fotoelectromagnetic nu avem cîmp electric și deci $C = 0$. Curentul fotoelectromagnetic de scurtcircuit, pe unitatea de lățime a probei este dat de

$$i_{FEM} = \int_0^d (J_{nx} + J_{px})\, dy \tag{A.25}$$

unde

$$\begin{aligned} J_{nx} &= J_{nj} \operatorname{tg} \theta_n = -\mu B J_{nv} \\ J_{px} &= J_{pv} \operatorname{tg} \theta_p = -\frac{1}{b} \mu B J_{nv} \end{aligned} \tag{A.26}$$

θ_n și θ_p fiind unghiurile Hall pentru electroni și, respectiv, găuri. Înlocuind (A26) în (A25) și ținînd cont de expresia lui J_{ny} (A15) obținem

$$i_{FEM} = \left(1 + \frac{1}{b}\right) \mu E_x I B \frac{L_D^*}{F} \tag{A.27}$$

La cîmp magnetic slab, $\mu B \ll 1$

$$L_D^* = (D_i \tau_{FEM})^{1/2}$$

unde

$$D_i = \frac{D(1+c)}{1+bc}$$

este coeficientul de difuzie ambipolară la cîmp magnetic slab, iar

$$\tau_{FEM} = \frac{\tau_n + c\,\tau_p}{1+c} \tag{A.28}$$

este timpul de viață fotoelectromagnetic.

Curentul fotoelectromagnetic de scurtcircuit total, $j_{FEM} = i_{FEM} \cdot l$, iar tensiunea fotoelectromagnetică, $V_{FEM} = j_{FEM} \cdot R$.

La cîmp magnetic slab și nivel mic de injecție,

$$V_{FEM} = IB \frac{b+1}{bc+1} \frac{L}{p_0 d} L_D^* \frac{1}{F} \tag{A.29}$$

Timpul de viață fotoelectromagnetic este insensibil la fenomenele de alipire în condițiile în care concentrația centrelor de alipire este aceeași în orice volum elementar din semiconductor [4] Pentru $\tau_n = \tau_p$, rezultă $\tau_{FEM} = \tau_{FC} = \tau_n = \tau_p$, adică timpul de viață fotoelectromagnetic este egal cu timpul de viață fotoconductiv, în absența fenomenelor de alipire.

În semiconductorii extrinseci puternic dopați se vede din (A28) că timpul de viață fotoelectromagnetic reprezintă timpul de viață a purtătorilor minoritari.

III. Timpul de viață în joncțiuni p—n.

Într-o joncțiune $p-n$ (fig. 2) se disting trei regiuni: regiunea de sarcină spațială ($l_n > x > -l_p$) și regiunile neutre: n ($x > l_n$) și p ($x < -l_p$). La aplicarea unei tensiuni directe joncțiunii $p-n$ se vor injecta găuri din regiunea p în regiunea n și electroni din regiunea n în regiunea p. Cînd grosimea regiunii de sarcină spațială este mică, $l_n + l_p < L_D$ (L_D = lungimea de difuzie a purtătorilor), se neglijează recombinarea în această regiune. În aceste condiții electronii injectați din regiunea n vor ajunge toți în regiunea p și găurile injectate din regiunea p vor ajunge toate în regiunea n. Cum tensiunea aplicată cade aproape toată pe stratul de baraj care are rezistență mult mai mare decît regiunile neutre, cîmpul electric în regiunile neutre va fi foarte mic și curenții de electroni și găuri prin joncțiune vor fi aproximativ egali cu curenții de

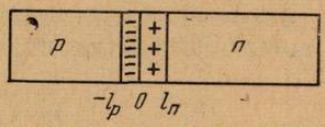


Fig. 2. Modelul liniar joncțiunii p—n.

difuzie a purtătorilor. În general regiunea p este mai puternic dopată decît regiunea n astfel încît curentul electric prin joncţiune este determinat de curentul de difuzie a găurilor

$$j = -e D_p \frac{dp}{dx} \tag{A.II.1}$$

D_p = coeficientul de difuzie a găurilor.

Dacă tensiunea care se aplică joncţiunii $p-n$ are o componentă continuă V_0 şi o componentă variabilă $V_1 e^{i\omega t}$, atunci concentraţia găurilor şi curentul prin joncţiune vor consta dintr-o componentă continuă şi una variabilă [5]

$$\begin{aligned} p &= p_0 + p_1 e^{i\omega t} \\ j &= j_0 + j_1 e^{i\omega t} \end{aligned} \tag{A.II.2}$$

Pentru a găsi curentul j trebuie să găsim dependenţa concentraţiei găurilor $p(x)$ de distanţă. Pentru aceasta se foloseşte ecuaţia de continuitate

$$\frac{\delta p}{\delta t} = -\frac{1}{e}\frac{\delta j}{\delta x} - \frac{p - p_n}{\tau_p} \tag{A.II.3}$$

unde τ_n este timpul de viaţă a găurilor iar p_n este concentraţia găurilor de echilibru în regiunea n. Pentru componenta variabilă, ţinînd cont de (AII2), ec. (AII3) are forma

$$\frac{\delta^2 p_1}{\delta x^2} - \frac{p_1}{L_p^2}(1 + i\omega\tau_p) = 0 \tag{A.II.4}$$

$$L_p = \sqrt{D\,\tau_p}$$

În aproximaţia semnalului de injecţie mic, $\frac{eV_1}{kT} \ll 1$, folosind condiţiile la limită

$$p_1(\ln) = p_0 e^{\frac{eV_0}{kT}} \frac{e}{KT} V_1 e^{i\omega t}$$

$$p_1(x)\Big|_{x\to\infty} = 0$$

se găseşte din (AI4) valoarea lui $p(x)$, iar pentru componenta variabilă a curentului electric expresia

$$j_1 = \frac{e}{KT}(j_0 + j_s)\sqrt{1 + i\omega\tau_p}\, V_1 \tag{A.II.5}$$

Din (AII5) rezultă conductanţa joncţiunii $p-n$

$$Y = \frac{e}{KT}(I_0 + I_s)\sqrt{1 + i\omega\tau_p} \tag{A.II.6}$$

unde I_0 este curentul continuu prin probă şi I_s este curentul de saturaţie. j_0 şi j_s sînt densităţile de curent, iar I_0, I_s sînt curenţii care trec prin toată suprafaţa joncţiunii.

În realitate, schema echivalentă a joncțiunii $p-n$ la semnul variabil mic (fig. 3)) are conductanța

$$Y = \frac{1}{R} + i\,\omega\,C$$

Comparînd (AII7) cu (AII6) găsim parametrii schemei echivalente — — rezistența diferențială

$$R = \frac{1}{G_0}\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{1+\sqrt{1+\omega^2\tau_p^2}}} \qquad \text{(A.II.8)}$$

— capacitatea diferențială

$$C = G_0\frac{\tau_p}{\sqrt{2}\sqrt{1+\sqrt{1+\omega^2\tau_p^2}}} \qquad \text{(A.II.9)}$$

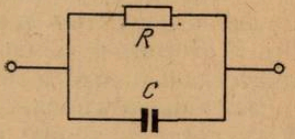


Fig. 3. Schema echivalentă a mcțijonunii p—n ideale

unde

$$G_0 = \frac{e}{KT}(I_0 + I_s) \qquad \text{(A.II.10)}$$

La curenți mari, în sens direct, C este capacitatea de difuzie a joncțiunii $p-n$

Din (AII8) și (AII9) rezultă relația dintre C, R și timpul de viață

$$C = \left(\frac{e}{KT}\right)^2 (I_0 + I_s)\frac{\tau_p}{2}R$$

Această relație ne dă posibilitatea ca din măsurarea capacității diferențiale, a rezistenței diferențiale și a curentului prin joncțiunea $p-n$ să determinăm timpul de viața a purtătorilor de sarcină. Dar despre metodele de determinare a timpului de viață vom vorbi într-o lucrare viitoare.

BIBLIOGRAFIE

[1] *Б. И. Дабыдоб*, Ж. Т. Ф, 7,2212 (1937)
[2] *S. W. Kurnick, R. N. Zitter*, J. Appl. Phys., 27,278 (1956)
[3] *R. N. Zitter*, Phys. Rev. 112, 852 (1958)
[4] *C. Constantinescu, V. Dolocan*, Rev. Phys, 1968 (sub tipar)
[5] *W. Shockley*, Electrons and Holes in Semiconductors, New York, 1959

NUCLEUL ATOMIC. MODELE NUCLEARE.

BUCURESCU DOREL

1. *Nucleul-generalități.* Existența unui nucleu greu, pozitiv încărcat și de dimensiuni mici, în centrul atomului, a fost stabilită cu certitudine prima oară de către Rutherford, pe baza analizei împrăștierii particulelor α (Heliu dublu ionizat) de către foițe subțiri metalice. Din calculele sale a reieșit că sarcina electrică responsabilă de împrăștierea observată era Ze, e fiind sarcina electronului, z numărul de ordine al elementului în tabelul lui Mendeleev. Cum atomul era neutru, prima sa imagine a fost aceea a nucleului central, încărcat pozitiv, înconjurat de Z electroni.

Masa M a nucleului era întotdeauna aproape un multiplu al masei protonului (cel mai simplu nucleu cunoscut atunci : cel al hidrogenului) ; deaceea s-a crezut inițial că nucleul e format din A protoni (A fiind numărul de masă — acel multiplu al masei protonului și $(A-Z)$ electroni, necesari pentru compensarea sarcinii și care se credea că mai au și rolul de a ține la un loc protonii în nucleu (care se resping electrostatic). Această imagine simplă a fost repede abandonată datorită unor dificultăți de nerezolvat.

Curînd după descoperirea neutronului, s-a înțeles că nucleul este format din neutroni și protoni. Anume, știm azi că fiecare nucleu e format din Z protoni și N neutroni, numărul său de masă fiind $A = N + Z$; în acest fel A capătă semnificația numărului total de particule din nucleu (aceasta deoarece masa protonului e foarte apropiată de cea a neutronului). Vom nota un nucleu prin ${}_{Z}X^{A}$ (ex : ${}_{1}H^{1}$)

Iată proprietățile de bază ale constituenților nucleului ;

	Simbol	Masă (unități m_e)	Sarcina (e)	Spin (unități $\hbar$).
Proton	p	1836	1	1/2
Neutron	n	1838	0	1/2

Spinul va fi discutat mai jos ; a fost dat aici pentru a face tabelul mai complet.

Prin această imagine a nucleului s-a înțeles imediat apariția în tabelul lui Mendeleev a izotopilor (nuclee cu același Z), a izobarilor (nuclee cu același A) etc.

Există o mare diversitate de specii nucleare cunoscute : circa 250 de izotopi stabili și peste 700 radioactivi (instabili).

Experiența a studiat și încă studiază aceste nuclee, le determină proprietățile, exprimate prin mărimi fizice ce vor fi definite mai jos. Rămîne ca aceste proprietăți să poată fi exprimate și înțelese și teoretic, printr-o schemă coerentă, avînd în vedere că toate nucleele sînt alcătuite din același tip de particule de bază. O privire asupra modului în care au decurs lucrurile pînă la descoperirea legii gravitației universale va da o imagine semnificativă a situației în care se găsește azi fizica nucleară. Știm că jaloanele importante au fost trei :

1) Tycho Brahe a colectat un vast material experimental, prin observații asupra mișcării plantelor, 2) Kepler a ordonat acest material prin cele 3 legi empirice și 3) Newton a propus legea gravitației universale, care dădea cele trei legi Kepler într-o schemă elegantă și consistentă. În același mod în fizica atomului, mecanica cuantică a fost pînă în cele din urmă capabilă să descrie proprietățile atomului, considerînd că forțele care țin electronii legați de nucleu sînt cele electrostatice.

În fizica nucleară (fizica nucleului) putem stabili o analogie cu schema de mai sus. Distingem azi caracteristici ale etapei „2" unde se încearcă explicarea unor seturi de date experimentale asupra nucleului pe baza unor teorii care ocolesc, prin ipoteze simplificatoare, problema de bază, aceea a cunoașterii legilor după care interacționează particulele nucleare și chiar ale etapei „3" unde se încearcă găsirea acestor legi, așa numitele „forțe nucleare" adică cele care țin la un loc în nucleu neutronii și protonii.

Intreaga tehnică și inteligență investite azi în cercetările de fizică nucleară și ale proprietăților particulelor nucleare, au ca ultim scop elucidarea naturii acestor forțe nucleare.

2. *Proprietăţile de bază ale nucleelor.* În afară de mărimile Z, A, N vom mai trece în revistă cîteva caracteristici generale.

Energia de legătură: forţele nucleare, prin care am înţeles acele forţe care ţin la un loc constituenţii nucleului, astfel ca acesta să fie un sistem mai mult sau mai puţin stabil, fac ca pentru a „rupe" un nucleu în constituenţii săi să trebuiască să cheltuim o anumită energie. Înseamnă că dacă avem aceşti constituenţi separaţi, fără să mai interacţioneze, energia corespunzătoare lor este mai mare ca cea corespunzătoare nucleului. Cum aceste energii le calculăm uşor pe baza relaţiei masă-energie din teoria relativităţii, ($E = Mc^2$), un mod echivalent e a spune că masa nucleului este mai mică decît suma maselor constituenţilor. Putem defini deci „defectul de masă", sau echivalentul său, „energia de legătură".

$$B = (NMn + ZMp)\,C^2 - Mc^2$$

Mn — masa neutronului
Mp — masa protonului
M — masa nucleului $_zX^A$

} Toate exprimate evident în aceiaşi unitate, cum se obişnuieşte, în unităţi atomice de masă (amu).

B se măsoară în MeV (1MeV $= 1{,}6.10^{-6}$ erg) şi e o măsură directă a stabilităţii nucleului faţă de ruperea sa în protoni sau neutroni constituenţi. În mod analog se poate calcula stabilitatea nucleului faţă de ruperea într-un număr de constituenţi oarecare. În particular, cu cît B e mai mic, nucleul e mai puţin stabil.

Raza nucleară. Nucleul e un sistem complex format din mai multe particule care interacţionînd între ele se află într-o permanentă mişcare. Ca urmare noţiunea de „rază" a sa nu trebuie înţeleasă în sensul că el are o suprafaţă bine definită. Experienţa totuşi stabileşte că nucleul are un volum finit, că densitatea de materie nucleară se menţine constantă pînă la o anumită distanţă de centru, unde scade destul de repede la zero. În acest sens se poate vorbi de o rază nucleară. Măsurători de altă natură, ne pot da alte imagini despre această proprietate de limită a nucleului pe care o numim rază, dar în alt sens: de exemplu din împrăştierea electronilor rapizi pe nucleu se poate trage concluzia că nucleul (evident aici intervin doar protonii) se prezintă ca o distribuţie de sarcină electrică conţinută într-un volum de o anumită rază. Cu alte cuvinte, diferite experienţe conduc la „raze" diferite. O rază nucleară medie, e bine stabilit experimental, satisface formula:

$$R = r_0 A^{1/3}$$

unde r_0 e o constantă ce depinde de tipul de experienţă, cum s-a subliniat mai sus. Totuşi valorile r_0 găsite pe diferite căi, converg către un interval destul de îngust: $r_0 - (1{,}4 \ldots 1{,}5)\ 10^{-13}$ cm.

Momentul electric cuadrupolar: e o mărime ce măsoară asimetria nucleului faţă de forma sferică. El e nul pentru un nucleu sferic. Se referă la distribuţia sarcinii electrice a nucleului.

Spinul: cîteva cuvinte despre spinul unei particule. S-a constatat că majoritatea particulelor elementare au spin. Spinul e o proprietate intimă a lor, ca şi masa şi sarcina: aceea de a poseda un moment cinetic intrinsec, cu proprietăţi cuantice. În mecanica clasică, o particulă, poate avea un moment cinetic definit prin produsul vectorial $\vec{l} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{r} \times (\vec{mv})$. În mecanica cuantică, pe lîngă acesta, numit moment cinetic orbital, şi care şi el trebuie tratat după legile specifice mecanicii cuantice, particulele

mai pot avea și unul intrinsec, spinul. De exemplu electronul are spinul 1/2; asta înseamnă că în valoare absolută acest spin este 1/2 ħ ($\hbar = h/2\pi$, h fiind constanta lui Planck, e unitatea cuantică de măsură a momentului cinetic).

Reprezentarea „intuitivă" a spinului ca descriind o mișcare de rotație a particulei în jurul unei axe a sa, este complet greșită. Încă cîtva cuvinte despre spinul 1/2 : el poate fi reprezentat ca un vector, însă cu proprietatea că față de o direcție aleasă în spațiu nu se poate orienta decît așa fel ca proiecția sa pe acea direcție să fie $+\frac{1}{2}$ ħ sau $-\frac{1}{2}$ ħ (paralel sau antiparalel).

Nucleul e compus din particule de spin 1/2 și care au și momente cinetice orbitale în mișcarea lor. Acestea se compun, respectînd reguli stabilite de mecanica cuantică, rezultînd că întregul nucleu se comportă el însuși ca o particulă, cu un moment cinetic total, J, căruia i se spune pe scurt, spinul nucleului.

Momentul magnetic : fiecare particulă, are asociat cu spinul său și un moment magnetic intrinsec (și neutronul are deși e neutru din punct de vedere al sarcinii electrice) ; de asemenea mișcării orbitale a particulelor încărcate îi corespunde un moment magnetic. Întreg nucleul va prezenta deci un moment magnetic total ; el se manifestă de exemplu în despicarea liniilor spectrale ale atomilor, moleculelor (structura hiperfină).

Statistica : în mecanica cuantică, un sistem (care poate fi o particulă, sau mai multe particule care interacționează) este descris prin funcția sa de undă. Aceasta e o funcție foarte generală, care depinde de toate variabilele ce descriu complet sistemul (poziții, spini) și cu ajutorul căreia se poate obține orice informație în legătură cu sistemul. Ea satisface (în mecanica cuantică nerelativistă) ecuația lui Schrödinger. Funcția de undă a unui sistem de particule identice, să zicem electroni, depinde de coordonatele fiecărei particule (poziția și spinul ei). În mecanica cuantică prezintă interes ce se întîmplă dacă interschimbăm 2 particule, adică în funcția de undă inversăm rolul coordonatelor lor : $1 \rightleftarrows 2$. Se arată că rezultatele posibile sînt : fie că funcția de undă rămîne neschimbată ($\psi(1,2) = \psi(2,1)$ în care caz se zice că particulele satisfac statistica Bose-Einstein, fie că își schimbă semnul ($\psi(1,2) = -\psi(2,1)$ în care caz se zice că particulele satisfac statistica Fermi-Dirac. Particulele de spin $\frac{1}{2}$ se numesc și fermioni, căci satisfac statistica Fermi.

Privind nucleul ca pe o particulă, se poate pune în același mod ca mai sus întrebarea : ce statistică satisface un sistem de anumite nuclee (de același fel). S-a găsit experimental că nucleele cu A par satisfac statistica Bose, cele cu A impar statistica Fermi. Acest lucru se poate explica plecînd de la faptul că protonii și neutronii sînt fermioni.

Paritatea : este proprietatea funcției de undă a unui sistem de a-și schimba semnul (paritate (−) sau impară) sau nu (paritate (+) sau pară), atunci cînd schimbăm semnul tuturor coordonatelor de poziție (deci e o proprietate a sistemului care se referă la comportarea sa față de operația de inversie spațială).

3. *Forțele nucleare.*

Pentru a forma sistemul stabil, „legat" cum i se mai spune, care este nucleul, protonii și neutronii interacționează puternic, prin forțe

atractive, numite și „forțe nucleare". Ele formează așa numita categorie a „interacțiilor tari".

Plecînd de la proprietățile celor mai simple sisteme legate, cum ar fi deuteronul (nucleul cu un proton și un neutron) și studiind și ciocnirile particulelor nucleare (protoni, neutroni, deuteroni, etc.) între ele și cu diferite nuclee, s-a ajuns să se cunoască despre forțele nucleare următoarele lucruri precise :

a) — sînt puternic atractive (mult mai tari ca cele gravitaționale și cele electromagnetice)

b) — au rază scurtă de acțiune (scad rapid la zero pe distanțe $\sim 1{,}5 \times 10^{-13}$ cm).

c) — la precizia actuală, se poate spune că forțele de interacțiune $n-p$, $n-n$ și $p-p$ sînt egale, dacă nu luăm în considerare interacțiunea electromagnetică ce apare în cazul $p-p$. Aceasta conduce la ipoteza „independenței de sarcină" a forțelor nucleare (e o ipoteză, pentru ca încă nu s-a putut studia direct interacțiunea $n-n$).

d) — depind într-o anumită manieră (n-o dăm aici explicit) de spinii particulelor care interacționează.

Nu se cunoaște explicit dependența lor de distanță, așa cum se știe spre exemplu la cele electromagnetice.

Teoria mezonică a încercat să explice într-un anumit fel aceste forțe, să exprime legea lor de variație. În teoria cuantică a cîmpurilor, interacțiunile sînt privite ca avînd loc prin schimburi de particule (cuantele cîmpului respectiv). Spre exemplu interacțiunea electromagnetică are loc prin schimb de fotoni (cuantele cîmpului electromagnetic). Privind în același mod problema forțelor nucleare, Yukawa, a găsit că cuantele cîmpului care se manifestă prin forțele nucleare trebuie să fie particule cu anumite proprietăți (mezonii). Ulterior mezonii au fost descoperiți, confirmînd această ipoteză. Teoria mezonică a forțelor nucleare e totuși foarte complexă, rezultatele cantitative se obțin foarte greu ; deși unele rezultate sînt în acord calitativ cu experiența, valabilitatea teoriei nu poate fi încă stabilită.

Cîteva cuvinte despre *spinul izotopic* . Pe baza ipotezei independenței de sarcină a forțelor nucleare și a proprietăților asemănătoare ale protonului și neutronului (mase apropiate, spin identic) e convenabil să privim protonul și neutronul ca 2 stări diferite (ca sarcină) ale unei particule, numită nucleon (în teoria particulelor elementare efectiv ei sînt înțeleși ca 2 stări barionice, cele mai stabile, în aceiași familie cu ei intrînd alte stări barionice, alte particule adică, spre exemplu Λ°, Σ^-, Σ°, Σ^+ etc.) Pentru a descrie cele 2 stări de sarcină ale neutronului (protonul și neutronul adică), se introduce un alt grad de libertate numit spin izotopic (sau spin izobaric, izospin, i-spin). Denumirea de „spin" vine de la aceea că formalismul matematic al tratării acestei mărimi e la fel cu cel al spinului obișnuit $\frac{1}{2}$.

Să remarcăm că la fel cum caracterizam nucleul printr-un spin, îl putem caracteriza acum și printr-un spin izotopic.

4. *Necesitatea modelelor nucleare.* Situația este deci următoarea : a studia nucleul, înseamnă a studia un sistem de mai multe particule, care interacționează într-un mod complicat și încă neînțeles pe deplin. O complicație e desigur necunoașterea forțelor nucleare. O alta rezidă în faptul că chiar cunoscute acestea, ne vedem puși în situația de a rezolva

problema mai multor corpuri (şi -n mecanica clasică se dezvoltă metode aproximative în acest caz). Numărul nucleonilor din nucleu nu-i nici atît de mare încît să putem introduce metode statistice în studiul lui.

În această situaţie, punctul de sprijin e tot experienţa. Din vastul material adunat, reies o serie întreagă de regularităţi, de legi empirice, care pot constitui puncte de plecare pentru ipoteze care să dea naştere unor teorii, capabile să descrie într-un anumit fel proprietăţile nucleului.

Ajungem deci la o imagine a nucleului, exprimată prin modele mai simple sau mai complexe. Înţelegem prin model un ansamblu de ipoteze simplificatoare, relative la distribuţia şi mişcarea nucleonilor în nucleu, pe baza cărora se pot calcula cu o anumită precizie caracteristicile nucleului. Fiecare model subliniază un anumit aspect specific structurii nucleului, desprins din experienţă. Unele modele vor apărea contradictorii, avînd la bază ipoteze contradictorii; de fapt nu e nicio contradicţie, ele sînt complementare! Avînd în vedere situaţia actuală din fizica nucleară, nu trebuie să judecăm şi să respingem a priori un model, chiar dacă la început poate părea straniu faţă de altul care deja are anumite succese. Doar comparaţia cu experienţa decide justeţea sa.

Orice model trebuie să calculeze caracteristicile nucleului printre care şi cele expuse în par. 2, după care are loc comparaţia lor cu cele măsurate experimental.

Orice model spre exemplu încearcă să redea cît mai corect schema de nivele energetice a nucleului, observată experimental. Ca orice sistem cuantic, un nucleu se poate afla doar în stări discrete, bine determinate, de energie. Starea de energie cea mai joasă, în care nucleele stabile stau un timp nelimitat, se numeşte stare fundamentală. Celelalte stări se numesc stări excitate; nucleul adus într-o astfel de stare prin absorbţie de energie (pe care o ia de exemplu atunci cînd e ciocnit de un proiectil), se dezexcită, trecînd spre stările de energie mai joasă, pînă la cea fundamentală; în stările excitate el stă un timp infim. Dezexcitarea are loc prin emisie electromagnetică (cuante γ — la atom erau raze X sau luminoase), sau prin emisie de diverse particule nucleare. Pe fiecare nivel nucleul prezintă un anumit spin şi o anumită paritate. Să notăm că spre deosebire de atom aici diferenţele de energie dintre stări sînt foarte mari: de la zeci de KeV pînă la cîţiva MeV.

Vom prezenta sumar modelele care încearcă să explice proprietăţile nucleului printr-o anumită structură a sa; vom cuprinde aceste modele în termenul „*modele de structură*". În strînsă legătură cu acestea, vom căuta să explicăm pe scurt comportarea nucleului în interacţiunea cu alte particule nucleare sau nuclee (situaţia întîlnită la reacţiile nucleare); ne vom referi la „*modele de interacţie*" în acest caz.

Caracteristicile nucleului pot fi investigate fie prin metode de spectroscopie nucleară (analog celei atomice), fie prin intermedul reacţiilor nucleare, în care nucleul e ciocnit de un altul, deobicei mai uşor şi cu o energie suficientă ca să producă fie excitarea primului fie transformarea sa în alt nucleu (sau ruperea sa în mai multe bucăţi).

5. *Modele nucleare.* S-au construit modele nucleare plecînd atît de la ipoteza că nucleul e un sistem de particule puternic interacţionate, cum sugerau o serie de fapte experimentale, cît şi de la aceea că ele sînt puternic legate, pot fi privite ca un sistem de particule independente, lucru iar sugerat de fapte experimentale. În fine, s-au construit şi modele „unficate" care iau în considerare ambele tipuri de caracteristici menţio-

nate mai sus. Putem da următoarea schemă a modelelor nucleare de structură, conexiunile reieşind din cele ce se vor spune mai jos despre fiecare :

De reţinut că niciun model nu-i aplicabil tuturor nucleelor şi nici nu descrie exact toate proprietăţile unui nucleu.

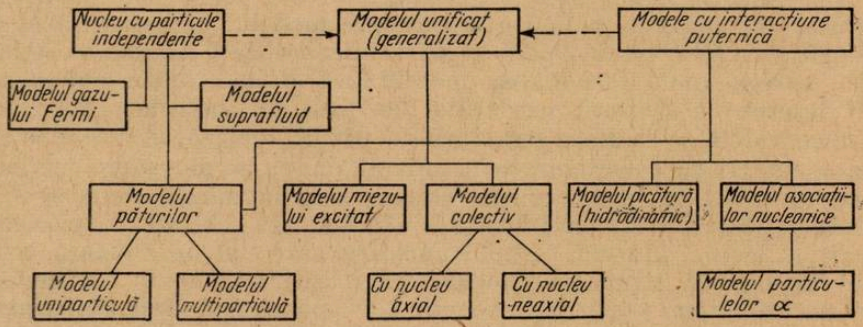


Fig. 1

I. Metodele cu interacţie puternică

I 1. *Modelul hidrodinamic* (*sau modelul picturii*) S-a observat proprietatea de „saturaţie" a forţelor nucleare : fiecare nucleon nu poate interacţiona în nucleu decît cu un număr limitat de nucleoni vecini. Aceasta reiese din observaţia că razele nucleelor sînt proporţionale cu $A^{1/3}$, deci volumul e proporţional cu A (numărul de nucleoni), deci densitatea materiei nucleare este constantă. În sfîrşit, chiar energia de legătură e în primă aproximaţie proporţională cu A. În acest fel avem o comportare a nucleonilor ca şi a moleculelor unui lichid, unde ştim de asemenea că forţele intermoleculare au caracter de scurtă distanţă, ducînd la o energie de legătură proporţională cu volumul lichidului (numărul de molecule). Deci, aceiaşi proprietate de saturaţie. În mod natural, nucleul a fost privit ca o picătură lichidă, modul de tratare fiind asemănător cu metodele hidrodinamice. Să remarcăm că-n această asemănare cu un lichid, datorită interacţiilor tari, drumul liber mijlociu al unui nucleon e mic în raport cu dimensiunile nucleului, ca şi pentru o moleculă în lichid.

În cadrul acestui model energia de legătură se obţine considerînd, în primă aproximaţie, că stabilitatea nucleului ia naştere în urma acţiunii forţelor nucleare atractive, a forţelor de repulsie coulombiană dintre protoni şi a unei „tensiuni superficiale" a lichidului nuclear de la suprafaţa nucleului.

Stabilitatea relativă a nucleelor cunoscute e bine explicată pe această cale. Stările excitate sînt înţelese ca rezultînd din oscilaţii ale suprafeţei picăturii. Modelul nu consideră deci micşcarări ale nucleonilor individuali ci mişcări colective, care presupun participarea tuturor nucleonilor. Avem de-a face cu excitaţii colective.

Modelul a avut succes la explicarea fenomenului de fisiune. Făcînd bilanţul celor 3 tipuri de forţe enumerate mai sus, se poate arăta uşor că există nuclee predispuse la ruperea în altele 2 mai uşoare. Aceste nuclee execută oscilaţii în cursul cărora atingînd o deformare critică (luînd aspectul unei haltere) pot fisiona.

Cum vom vedea spre sfîrșit, acest model poate interpreta într-un mod ce s-a dovedit aplicabil în unele condiții, o reacție nucleară.

Modelul descrie calitativ bine spectrele unor nuclee par-pare. Inconsistențe : nu poate fi folosit pentru descrierea altor proprietăți nucleare ca : moment magnetic, moment electric cuadrupolar, probabilități de tranziție electromagnetică (care deobicei sînt mai mici ca cele prezise), etc.

I.2. *Modelul asociațiilor nucleonice.* Il vom trece tot în această categorie, deși după ce vom vorbi și despre modelul păturilor, locul său va fi mai clar. El este un model de pături generalizat. Anume, o serie de nuclee ușoare, unde formularea matematică e mai puțin complicată, pot fi descrise cu ajutorul asociațiilor de nucleoni „perechi". De asemenea, se consideră că în afara structurii de pătură închisă, despre care spunem acum doar că e o configurație favorizată din punct de vedere energetic, trebuie să existe în nucleu și alte substructuri favorizate, cum ar fi de exemplu asociațiile (termenul folosit în engleză este „cluster" — ciorchine) α și triton. Numai în cazul forțelor nucleare, care sînt de distanță scurtă putem înțelege că structura nucleelor mai ușoare poate fi conținută în cea a nucleelor mai grele. Un exemplu : F^{19} poate fi descris aproximativ ca 0^{16} neexcitat $+ H^3$. Considerînd oscilațiile relative ale celor 2 clusteri se pot obține nivelele joase ale F^{19}. Alt exemplu : Li^6 considerat compus din $\alpha + H^2$.

Modelul asociațiilor nucleonice poate prezice relativ corect unele rapoarte de energii de excitație. Toate caracteristicile prevăzute de el, pot fi însă obținute într-un model de pături perfecționat.

Mai des întrebuințat și cu unele succese, din această categorie, este

I.3. *Modelul particulelor* α : ideia existenței unor particule α preformate în nucleu este veche, de cînd s-a observat radioactivitatea α. E corect însă nu să ne imaginăm particule α stabil formate în nucleu ci o structură de particule α, mai mult sau mai puțin permanentă, cu timpi de viață mai lungi însă decît perioada vibrațiilor și rotațiilor ei.

Modelul e susținut de stabilitatea deosebită a nucleelor par—pare zise și nuclee α (He^4, C^{12}, O^{16}, Ne^{20}) care s-ar datora stabilității particulei α.

După cum am spus, particulele α în care se strîng nucleonii unui astfel de nucleu, nu trebuie să fie neapărat stabile : între ele pot exista schimburi de nucleoni, doar că frecvența lor trebuie să fie mică față de cea a oscilațiilor structurii de particule α.

Deși această ipoteză de bază a modelului nu s-a dovedit corectă, proprietățile anumitor stări ale nucleelor pot fi explicate ca fiind produse de oscilațiile și rotațiile miezului de particule α. Interacțiunea dintre

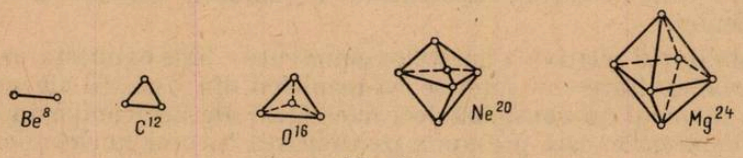


Fig. 2

particulele α (în afară de cea electrostatică), e asemănătoare interacțiunii Van der Waals dintre moleculele unui lichid. S-ar putea ca aceste forțe să aibă chiar caracter de schimb (să apară în urma schimbului de nucleoni) La distanțe foarte mici, particulele α se resping, partea principală a

acestei respingeri fiind nu atît cea coulombiană cît consecinţele principiului lui Pauli (nucleonii identici din diferitele particule α avînd stări asemănătoare nu se pot găsi în acelaşi punct — ei trebuie să se respingă). Astfel ne putem închipui o distanţă de echilibru între particulele α, în jurul poziţiilor de echilibru acestea avînd oscilaţii. Sistemul poate avea şi rotaţii. Vedem că excitările sînt tot de natură colectivă : excitări ale clusterilor (α). Iată cum sînt privite structurile de echilibru ale cîtorva nuclee :

Se obţin scheme de nivele relativ corecte. Totuşi modelul nu poate spune nimic despre nucleele care nu-s par-pare.

II. Modele cu particule independente.

II 1. *Modelul gazului Fermi* : se neglijează interacţiunea dintre perechile de nucleoni, forţa generală care se exercită asupra unui nucleon, este considerată, alegînd o groapă de potenţial sferic simetric, cu un anumit diametru şi o anumită adîncime. Echivalent, avem imaginea unui „gaz" format din nucleoni închis într-o sferă de rază $r_0 A^{1/3}$.

În mod asemănător se tratează „gazul electronic" în metale.

În starea cea mai joasă a nucleului, nucleonii ocupă pe rînd, conform principiului de excluziune, toate stările energetice joase (corespunzătoare potenţialului ales). Gazul nucleonic este tratat conform statisticii Fermi. Modelul prezice valori relativ bune pentru energia de legătură, dar, deşi dă o bună descriere calitativă nucleului, alte caracteristici, ca nivelele de energie, sînt imprecis evaluate.

Ne vom ocupa de o consecinţă a modului de a privi nucleonii ca pe un gaz ; vom vedea că gazul Fermi are cu totul alte caracteristici decît un gaz clasic. Într-un gaz clasic, ciocnirile între particulele constituente sînt frecvente aşa că parcursul liber mijlociu al unei particule e mic comparativ cu volumul gazului (prin ciocnire înţeleg un eveniment în cursul căruia 2 particule interacţionînd îşi modifică reciproc starea de mişcare). În gazul Fermi, toate particulele sînt distribuite pe nivelele cele mai joase de energie, acestea fiind umplute total. Ce s-ar întîmpla cînd 2 particule s-ar ciocni? Transferul de impuls care ar rezulta n-ar fi suficient decît să mute particula într-o stare de altă energie, dar nu mult diferită, care deja e ocupată de altă particulă. Conform principiului de excluziune, într-o aceiaşi stare nu se mai poate afla şi o a doua particulă ; rezultă că stările particulelor nu pot fi schimbate uşor, pentru că nu au loc ciocniri care să poată face acest lucru. Parcursul liber mediu e mare faţă de volumul gazului. Acest fapt e o justificare esenţială pentru modelul în pături şi pentru modelul optic.

II 2. *Modelul păturilor.* Să revedem pe scurt situaţia din fizica atomică : la atomi se consideră mişcarea unui electron în cîmpul electric al nucleului (cîmp central). Se obţin astfel o serie de nivele energetice uniparticulă permise. În primă aproximaţie se poate considera că electronii se mişcă independent în cîmpul nucleului (care poate fi luat un cîmp „efectiv" căci dacă avem mai mulţi electroni la nucleu, acesta se prezintă ca şi cum ar avea o sarcină efectivă mai mică) ; ca atare folosind principiul lui Pauli realizăm configuraţia atomului umplînd rînd pe rînd, cu electroni, nivelele uniparticulă. Se obţine bine cunoscuta structură de pături, care explică tabelul lui Mendeleev.

În aproximaţii superioare se consideră şi interacţiunile electronilor între ei. S-a observat şi la nucleu o „structură de pături". Astfel există

așa numitele „numere magice" de protoni și neutroni : Z (sau N) = 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 pentru care nucleele respective au proprietăți deosebite (de stabilitate, etc.), ca :

— printre cele mai abundente elemente din natură (deci foarte stabile) sînt $_{8}O_{8}^{16}$, $_{20}Ca_{20}^{40}$ (nuclee dublu magice).

— $_{82}Pb^{206}$ e foarte stabil, el încheie o serie radioactivă

— la numerele magice apar discontinuități în energiile de legătură,

— nucleele cu Z număr magic (ex. $_{20}Ca$) pot prezenta o serie de izotopi cu excese mari de neutroni, deci structura cu Z = număr magic e foarte stabilă.

— elementele cu N și Z numere magice au foarte mulți izotopi și izotoni stabili,

— momentele de cuadrupol la astfel de nuclee sînt foarte apropiate de zero, minime față de nucleele vecine, indicînd o formă apropiată de cea sferică, foarte stabilă.

— o serie întreagă de alte proprietăți suferă salturi sau ating extreme în dreptul numerelor magice.

Pe de o parte deci situația seamănă cu cea de la atom. Cum însă forțele sînt de scurtă distanță, la prima vedere lucrul era inexplicabil, situația nu era ca la atom. Mai putem considera că nucleonii se mișcă independent unul de altul, într-un cîmp central? În primul rînd în nucleu nu există nimic analog nucleului în atom.

Pe de altă parte, însuși faptul că atît protonii cît și neutronii prezintă numere magice identice, sugerează un înalt grad de independență a lor, de individualitate. Principiul lui Pauli aplicat sistemului nuclear, poate de asemenea să dea o justificare modului de a privi nucleonii ca micșcîndu-se independent : am văzut că urmarea acestui principiu e că nucleonii nu-și pot modifica starea de mișcare în urma „ciocnirilor" dintre ei ; ca urmare „traiectoria" unui nucleon în nucleu, ca să dăm o imagine clasică, nu va arăta foarte accidentată, zig-zaga-tă, ca a unei molecule într-un gaz ca urmare a modificărilor drastice ale stării de mișcare în urma ciocnirilor, ci foarte „netedă", ca și cum nucleonul s-ar mișca independent, fără să suporte interacțiuni din partea celorlalți, care să-i schimbe brusc starea.

Cu alte cuvinte, e corectă și imaginea unui cîmp potențial central (rezultat bineînțeles din interacțiunea fiecărui nucleon cu ceilalți numit cîmp self — consistent) în care nucleonii se mișcă independent, analog cu situația de la atom.

Iată deci că am ajuns în situația de a întemeia un model pe o ipoteză total opusă celei care stătea la baza modelului picătură.

În prima formă a modelului păturilor, s-a considerat un potențial central, sferic simetric, în care se căutau stările legate ale unui nucleon (rezolvîndu-se ecuația Schrödinger). Succesiunea nivelelor obținute considerînd gropi de potențial de diferite forme, dreptunghiulară, parabolică, sau ceva intermediar între ele, nu reproducea numerele magice observate.

Nivele uniparticulă sînt caracterizate în acest model de numerele cuantice n(joacă rolul numărului cuantic principal de la atom) și l (numărul cuantic al momentului cinetic orbital). Umplînd succesiv nivelele cu nucleoni, respectînd principiul lui Pauli, obținem o „structură de pături" dar neconcordantă cu cea reală.

M. G. Mayer și H. J. Jensen au-completat modelul introducînd și un potențial de interacție spin-orbită (și la atom apărea o interacție spin-orbită pentru electron și semi-clasic putea fi privită ca interacția

dintre momentul său magnetic intrinsec și cel datorit mișcării sale orbitale) În acest caz nivelele se multiplică ; fiecare stare se caracterizează prin 3 numere cuantice : n (un număr cu ajutorul căruia se numără nivelele), l și j (momentul cinetic total) ; j se obține din compunerea momentului cinetic orbital al nucleonului, cu cel de spin : $\vec{j} = \vec{l} + \vec{s}$; $\left(s = \frac{1}{2}\right)$, deci conform celor spuse despre spinul 1/2, la un l dat, $j = l \pm 1/2$ (ia doar 2 valori). Conform principiului lui Pauli, un nivel cu momentul cinetic j poate fi umplut de maxim $(2j+1)$ neutroni și tot atîția protoni. Dacă se face acest lucru, se obține o schemă în care numerele magice apar în mod natural, adică păturile observate. Prin pătură aici nu înțelegem, ca la atom, un grup de nivele cu aceiași număr cuantic principal, ci un grup de nivele ce pot avea n, l, j diferite, dar au energii relativ apropiate între ele și mult diferite de energiile celorlalte nivele.

Păturile de protoni și neutroni se completează separat. Totuși nivele protonice sînt mai ridicate decît cele neutronice datorită forțelor coulombine (sînt deplasate spre energii mai mari). Dealtfel forțele coulombine devin din ce în ce mai importante cînd z crește, amenințînd stabilitatea nucleelor. Apariția exceselor de neutroni $(N-Z)$ care cresc cu creșterea lui z, e o necesitate a echilibrării forțelor coulombiene.

Subliniem că spre deosebire de atom unde cuplajul spin-orbită era slab în comparație cu interacția electrică centrală, ceea ce permitea clasificarea stărilor după cuplajul LS, aici cuplajul spin-orbită e mult mai intens și Mayer și Jensen pe baza analizei materialului experimental au tras concluzia că se realizează numai cuplajul jj. Adică starea fiecărui nucleon e caracterizată după cum am văzut, de către j (momentul cinetic al stării) și o anumită paritate. Vectorii $\vec{j}$ ai diferiților nucleoni se compun și dau momentul total J al nucleului (spinul său, cum l-am numit, ca și cum nucleul ar fi o particulă elementară) Deaceea se mai întîlnește referirea la „modelul cuplajului jj''). Ipoteza independenței mișcării nucleonilor nu permite deocamdată decît explicarea numerelor magice. Spectrele nucleare și alte caracteristici nu pot fi încă calculate.

Într-o variantă simplificată, *modelul uniparticulă*, se reușește să se calculeze unele proprietăți. La baza acestei variante stă ipoteza, întrebuințată întîi de Mayer și Jensen că : în starea fundamentală a nucleelor impare, toți nucleonii, cu excepția ultimului nucleon impar, formează un miez cu spinul $J = 0$ care nu influențează celelalte proprietăți nucleare (spin, moment magnetic, cuadrupolar etc.) acestea fiind determinate de ultimul nucleon impar. Se dă deci un mod explicit de cuplare a momentelor individuale j, punîndu-se în evidență o tendință a protonilor și neutronilor aflați în nucleu în stări cu același j, de a forma perechi în care momentele lor cinetice se compensează.

Rezultă că în starea fundamentală nucleele par-pare au spinul zero lucru confirmat de experiență. La nucleele impare spinul ar trebui să coincidă cu cel al nucleonului care rămîne cu momentul necompensat, lucru ce are loc în multe cazuri. De asemenea sînt valabile unele preziceri ale modelului pentru spinul nucleelor impar-impare.

La o analiză a tuturor nucleelor în lumina acestui model simplu s-au obținut concordanțe cu experiența în ceea ce privește prezicerea spinilor stării fundamentale, calitativ-momentele magnetice (considerate exclusiv datorate nucleonilor nepereche și destul de nesatisfăcător în ceea ce privește momentele cuadrupolare. Pentru explicarea restului de proprietăți

și mai ales a schemei de nivele, a fost necesară îmbunătățirea metodei de calcul; anume, s-a considerat că cîmpul central care dă nivele uniparticulă nu e o aproximație suficient de bună a interacției dintre nucleoni și că trebuie luate în considerare și interacții suplimentare între particule, așa numitele interacții reziduale. Modelul în pături cu interacții reziduale între nucleonii din afara păturilor închise descrie bine nucleele la energii joase de excitare (modelul în pături multiparticulă).

După ce am văzut succesele modelului păturilor, să amintim unele insuccese ale sale, care au făcut necesară introducerea altui tip de model, pentru nucleele mai depărtate de configurația păturilor închise.

Momentul cuadrupolar calculat în ipoteza că se datorează nucleonului nepereche, este în general, pentru multe nuclee, mult mai mic decît valoarea experimentală. Aceasta indică faptul că nucleele respective au o formă ce se abate mai mult de la simetria sferică. Astfel de valori mari pentru momentele cuadrupolare se găsesc în special pentru nucleele cu Z și A între păturile închise: $50 < Z < 82$, $82 < N < 126$.

De asemenea există nuclee, aproximativ cu $150 < A < 190$ și $A > 220$ care posedă un spectru energetic de tipul rotațiilor, ceea ce indică existența unei deformări a lor.

Inițial Rainwater a încercat să dea următoarea explicație: nucleonul impar, care se mișcă în cîmpul central al „miezului" sferic, interacționează cu acesta, deformîndu-l local. Într-o imagine clasică se presupunea că deformarea miezului urmărește instantaneu poziția particulei externe. Acest mod de a privi lucrurile a dus la ameliorări ale situației dar nu era întrutotul corect. În primul rînd că un miez deformat nu mai acționează asupra nucleonului exterior lui printr-un potențial sferic simetric, ceea ce duce la o formulare diferită a problemei.

Toate acestea au condus în cele din urmă la un nou model, modelul unificat (sau generalizat, sau colectiv), care folosește în descrierea nucleului atît ideea particulelor independente cît și cea a coordonatelor colective.

III. Modelul generalizat (unificat)

Putem spune pe scurt că acest model privește nucleul ca fiind format dintr-un miez supus mișcărilor colective (ca-n modelul picăturii) și cîteva particule exterioare lui. Între miez și extraparticule există bine-înțeles o interacție. Miezul poate fi deformat. Plecînd de la modelul în pături și anume de la un nucleu sferic, cu pături complete, putem obține o imagine a modelului în care apare deformarea. Adăugînd noi nucleoni aceștia pot interacționa cu miezul, deformîndu-l. Deformarea suprafeței nucleare e o formă de mișcare colectivă a nucleonilor care poate apare relativ ușor, căci în nucleu nu există un corp central al cărui cîmp să stabilizeze sistemul. Între suprafața miezului și nucleonii individuali exteriori, interacția e de natură foarte complexă. Pe de o parte nucleonii exteriori influențează mișcarea colectivă a miezului (a suprafeței sale) pe de altă parte mișcarea suprafeței crează variații ale cîmpului creat de miez și în care se mișcă nucleonii exteriori.

Se pot imagina cuplaje „slabe" între nucleonii exteriori și miez sau cuplaje „tari"; nu vom examina ce se înțelege prin acest lucru. Am văzut că multe proprietăți ale nucleului depind esențial de mărimea deformării, care la rîndul ei depinde de configurația nucleonilor. În

regiunea păturilor închise forma de echilibru este sfera şi am văzut că se obţine un spectru uniparticulă.

Adăugarea de nucleoni aduce cu sine deformarea nucleului. În asemenea cazuri apar mişcări colective (ale miezului deformat), care cuplate cu mişcările uniparticulă ale nucleonilor exteriori conduc deobicei la o structură foarte complicată a stărilor nucleare.

Situaţia poate deveni ceva mai simplă cînd sîntem departe de păturile închise. În acest caz deformaţia e foarte mare,se poate vorbi de o orientare a nucleului în spaţiu şi problema poate fi rezolvată aproximativ aşa : studiem separat mişcarea nucleonilor individuali faţă de miezul deformat, fixat (deci problemă uniparticulă doar că potenţialul nu-i sferic simetric) şi mişcările colective (de vibraţie şi rotaţie) ale miezului deformat.

În nucleele puternic deformate stările cele mai joase sînt cele de excitare colectivă şi anume cele de rotaţie : se obţin benzi de rotaţie ca şi la molecule ; în această formă de mişcare colectivă (rotaţia) forma nucleului nu se schimbă. Totuşi, apar şi vibraţii în jurul formei de echilibru, ceea ce dă nivele de excitaţie mai înaltă. S-au făcut calcule şi în ipoteza că miezul deformat are o simetrie axială, şi în aceea că nu are o simetrie axială.

Se remarcă că pînă acum am trecut în revistă 2 categorii de modele bazate pe ipoteze contradictorii şi o a treia categorie, care include ambele tipuri de ipoteze. Trebuie să se găsească însă o teorie unitară care să explice atît stările uniparticulă cît şi cele colective. Se caută în special să se înţeleagă originea mişcărilor colective ale materiei nucleare pornindu-se de la stările uniparticulă (stările colective se construiesc ca o suprapunere de stări uniparticulă, obţinîndu-se astfel o teorie microscopică a lor). E normal să se lucreze aşa întrucît e bine stabilită existenţa cîmpului selfconsistent de nucleu.

Mai există o serie întreagă de variante ale modelelor expuse mai sus. Spre exemplu, pînă acum am văzut că modurile posibile de excitare a nucleului erau :

— excitarea uniparticulă (ridicarea unei singure particule de pe o stare pe alta),

— excitări realizate prin mişcări colective a mai multor nucleoni (rotaţii colective, vibraţii).

În aşa numitul model al miezului excitat se iau în considerare excitări obţinute prin combinări ale acestor excitări de bază în diferite moduri. Un exemplu mai simplu este următorul : în regiunea deformaţiilor mari, e posibil să se excite un nucleon de pe o orbită a potenţialului deformat, pe alta. Această stare excitată formează baza unei noi benzi rotaţionale.

De asemenea excitări mai complicate se obţin prin reorientarea relativă a orbitalelor nucleonilor ce aparţin unei anumite configuraţii.

Amintim în încheiere de un model „în pături" mai general, numit *modelul suprafluid*. În acest model se dezvoltă o metodă de calcul care ia în consideraţie interacţiunile de scurtă distanţă între toate perechile de nucleoni din nucleu. Aceasta duce la concluzia că materia nucleară prezintă proprietăţi de „suprafluiditate". Calitativ, iată ce înseamnă acest termen : în apropiere de $T = 0°K$ ($T < 2°K$). Heliul lichid e format din două componente, dintre care una este complet lipsită de vîscozitate şi nu poate fi antrenată spre exemplu într-o mişcare de rotaţie. Această proprietate a fost explicată pe baza statisticii Bose (atomii de

He sînt bosoni). Electronii din metale prezintă proprietăţi de suprafluiditate (aici se cheamă supraconductibilitate), fenomen ce nu se poate explica admiţînd că gazul electronic e gaz Fermi pur (între electroni nu există interacţii). Se arată însă că între perechi de electroni se pot manifesta forţe de atracţie, ceea ce ar duce la formarea de astfel de perechi care se comportă ca bosoni. În mod analog se întîmplă probabil şi în cazul nucleonilor din nucleu; de aceea modelul a primit denumirea de „suprafluid".

Modelul se explică bine (el îmbunătăţeşte de fapt rezultatele celorlalte modele). Explică satisfăcător stările excitate nu prea înalte, diferenţele dintre spectrele de excitaţie ale nucleelor parpare faţă de cele cu A impar, etc....

Interesant că în stările de excitaţie înaltă, nucleele se comportă ca şi cum proprietatea de suprafluiditate dispare. Aceasta e în analogie cu dispariţia suprafluidităţii Heliului, a supraconductibilităţii, la temperaturi înalte.

Modele de interacţie.

După cum s-a subliniat deja, una din căile principale prin care sînt investigate proprietăţile nucleului, o constituie reacţiile nucleare. Fără a intra în amănunte, respectiv fără a defini mărimile fizice care caracterizează un asemenea proces, deci fără pretenţia de a atinge problemele principale, vom căuta, să răspundem pe scurt, la întrebările: cum se comportă nucleul în interacţie cu un altul (într-o reacţie nucleară), cum se manifestă structura sa într-o reacţie nucleară? Sau, cu alte cuvinte ce modele pot explica caracteristicile unei reacţii nucleare (termenul folosit mai des este cel de „mecanism de reacţie") şi cum se manifestă proprietăţile individuale, structurale, ale nucleelor în cadrul acestor mecanisme

O reacţie nucleară are loc evident cînd intră în joc forţele nucleare, deci cînd nucleele care iau parte la ea sînt suficieint de apropiate. Pentru a le putea apropia la distanţe atît de mici e necesar ca cel puţin unul din nuclee să aibă o energie suficientă. Astfel, deobicei reacţiile nucleare sînt provocate prin ciocnirea unui nucleu cu un altul, de regulă mai uşor (nucleon, deuteron, triton, particul, diverşi ioni), care a fost în prealabil accelerat sau provine cu o energie suficientă dintr-o altă reacţie. În urma interacţiei celor două particule se pot obţine una, două sau mai multe particule.

Putem distinge trei stadii într-o astfel de reacţie: primul, în care cele 2 particule sînt încă suficient de îndepărtate încît nu intereacţionează încă, al 2-lea: ele s-au apropiat suficient de mult, intră în acţiune forţele nucleare, al treilea: particule rezultante din reacţie (pentru simplitate vom presupune de aici înainte că-s numai două), s-au depărtat iar suficient de mult ca să nu mai interacţioneze. Cunoaştem exact primul stadiu, prin măsurători experimentale putem cunoaşte la fel de bine cel de-al treilea stadiu. Cele două sînt unit prin interacţia, reacţia propriu-zisă care a avut loc, şi în care nu ştiu ce s-a întîmplat. Este ceea ce-şi propune modelul, sau mecanismul de reacţie să facă: să poată descrie cît mai exact modul în care are loc interacţia, astfel încît modul în care ea se manifestă pentru noi, prin intermediul caracteristicilor stadiului numit mai sus „al treilea" (pe care noi le măsurăm) să poată fi şi el descris cît mai exact. Cele două concepte de bază pe care le-am întîlnit

la modelele de structură au jucat şi-n domeniul modelelor de interacţie un rol la fel de important. Dealtfel, putem da o schemă perfect analoagă celei de la modele nucleare (aici, ceva mai puţin amănunţită): Cu titlul absolut informativ vom discuta despre fiecare din aceste modele.

Nucleul compus: la baza sa stă concepţia interacţiei puternice dintre nucleoni; dealtfel va releva acest lucru asemănarea cu modelul

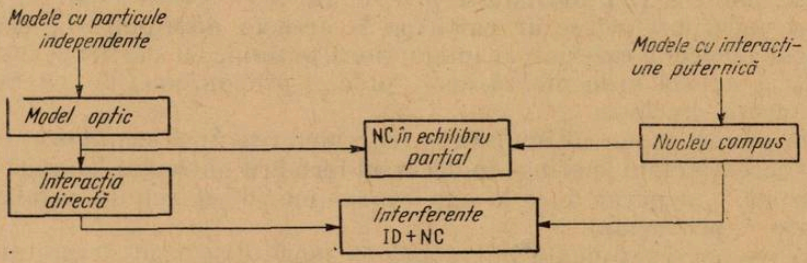


Fig.3

picăturii nucleare. Iată cum descrie Bohr mersul unei reacţii nucleare prin acest mecanism. Odată ce a străpuns suprafaţa nucleului, particula incidentă suferă interacţiun puternice cu toţi nucleonii nucleului ţintă. În acest mod ea îşi pierde individualitatea. Prin ciocnirile repetate care au loc în sistemul nou format, energia adusă de către particula incidentă este uniform distribuită tuturor nucleonilor. Se formează astfel un nou sistem, un nou tip de nucleu, numit „nucleu compus", ale cărui proprietăţi vor determina de acum înainte modelul în care va evolua reacţia nucleară. Deci distingem un prim stadiu al mersului reacţiei nucleare: 1) Formarea nucleului compus (N.C). Nucleul compus format într-o anumită stare, trăieşte un timp mult mai lung decît timpul care i-ar fi necesar particulei incidente să străbată un drum egal cu diametrul nucleului.

Etapa a 2-a a reacţiei nucleare este 2) Dezintegrarea nucleului compus, adică nucleul compus poate expulza un nucleon sau alte particule. Cum ne închipuim această dezintegrare în lumina teoriei lui Bohr? Nucleul compus este un sistem foarte excitat, datorită energiei adusă de particula incidentă şi celei pusă în joc la formarea acestui sistem compus. Il putem compara cu o picătură foarte „fierbinte"; după cum am spus, putem presupune că e „încălzit tot nucleul, adică energia de excitaţie e distribuită pe toţi nucleonii (lucru de care ne putem dispensa în alte ocazii). După un timp, datorită fluctuaţiilor statistice ce au loc în sistem, se poate întîmpla ca o energie suficientă să se concentreze asupra unui nucleon sau unui grup de nucleoni, care în acest fel să poată părăsi nucleul compus (să poată învinge bariera de potenţial). Deci imaginea e cea a picăturii care „se răceşte" prin evaporare.

Ipoteza lui Bohr este că dezintegrarea nucleului compus nu depinde de etapa 1), a modului în care s-a format acest nucleu compus, ci doar de proprietăţile sale (energia, spinul şi paritatea sa), ceea ce e echivalent cu a spune că nucleul compus pierde memoria formării sale.

Mecanismul de reacţie prin nucleu compus, aplicabil în special la energii joase de reacţie, are succese în explicarea unor caracteristici ale reacţiilor, dintre care amintim doar rezonanţele înguste din secţiunile eficace. Menţionăm că structura de pături a nucleului joacă un rol im-

portant în determinarea proprietăților nucleului compus, deci a însuși mersului reacției prin acest mecanism.

Dealtfel, un model intermediar și anume modelul NC în echilibru parțial, presupune că echilibrul de genul celui care se atingea în sistemul compus este atins nu prin distribuirea energiei de excitație pe toți nucleonii sistemului, ci doar pe o parte din ei (deci nu se „încălzește" picătura, ci doar o parte din ea); în acest caz structura în pături a nucleului joacă rolul esențial, putîndu-se privi lucrurile ca și cum doar nucleonii exteriori păturilor închise ar participa la această distribuire la energie, Deci, doar nucleonii exteriori ar interacționa puternic cu particula incidentă. Însă și miezul influențează acest proces, prin interacțiile pe care le are cu acești nucleoni.

De asemenea, în ultimul timp, considerarea unor configurații speciale pe care sistemul le atinge în decursul formării nucleului compus (stările „poartă"), a putut duce la explicarea unui întreg set de regularități observate experimental.

Să trecem deocamdată în cealaltă extremă, discutînd despre modele bazate pe concepția particulelor independente.

Modelul optic: analogia cu modelul păturilor este directă; el e de fapt o extindere a acestuia la studiul reacțiilor nucleare. Ca și la modelul în pături, presupunem acum că particula incidentă poate pătrunde în nucleu fără să-i schimbe starea (deci fără să interacționeze puternic cu nucleonii acestuia). Deci nucleul acționează asupra particulei incidente ca o groapă de potențial. Însă particula incidentă poate suferi și procese (relativ rare) care-i pot schimba starea de mișcare: deci din fascicolul incident, majoritatea particulelor vor suferi interacția cu nucleul fără să-și schimbe starea cuantică nici ele, nici nucleul (acest procese se numește împrăștierea elastică), o mică parte suferind și alte procese (spre exemplu împrăștieri inelastice — care excită nucleul, etc..) Pentru a lua în considerare și existența acestor procese care nu-s elastice, se adaugă potențialului un termen imaginar. Potențialul devine deci o mărime complexă.

Rolul termenului imaginar e că reprezintă o anumită absorbție a particulelor din fascicolul incident. Analog, în optică, indicele de refracție al unui mediu se ia complex, partea sa reală cauzînd reflexii și refracții razei de lumină partea imaginară absorbția sa. Deci potențialul complex la un nucleu e echivalent cu a-l considera „semitransparent" pentru particule.

Modelul optic descrie foarte bine împrăștierea elastică a particulelor pe nuclee. De remarcat că analogia cu modelul păturilor merge și mai departe; și aici se pot introduce interacții reziduale care aduc corecții ce includ modelul optic, se pot include mișcările colective ale nucleului. Aceasta a condus la conceptul mai general de reacții care au loc prin mecanism de interacție directă. Opus ideii de nucleu compus, prin aceasta se înțelege, într-un sens foarte restrîns și nu chiar corect, faptul că particula incidentă interacționează cu nucleul doar printr-o singură ciocnire în interiorul său, sau la suprafața acestuia.

La fel cum modelul păturilor și modelul picătură erau 2 limite posibile, și modelele *NC* și *ID* descriu două situații limită ale modului în care poate avea loc o reacție nucleară.

Sînt situații în care unul din aceste mecanisme predomină net, dar și situații în care cele două mecanisme interferă. În cadrul fiecărui

mecanism de reacție, proprietățile nucleului se manifestă puternic. De exemplu, prin reguli de selecție (după sin, paritate). La aplicații concrete la diferite nuclee, a unuia sau altuia din mecanismele de reacție, modelul de structură presupus pentru nucleul respectiv poate decide concordanța sau neconcordanța datelor calculate cu cele experimentale, ceea ce poate fi un test suficient pentru stabilirea valabilității lui.

Problema 1.

O particulă de sarcină e și masă m se află într-o groapă dublă de potențial, unidimensională, de forma dată în figură.

1. Să se găsească ecuația care dă stările staționare ale articulei pentru $W < U_0$ (se vor considera stările pare și impare).

2. Să se găsească expresia aproximativă a distanței dintre nivelele corespunzătoare stărilor pare și impare, pentru cazul nivelelor adînci ($W \ll U_0$). Să se particularizeze pentru următoarele valori: $U_0 = 10e$ V, $a = 2b = 5\ A°$, particula fiind un electron, iar $U\left(\frac{a}{2} + b\right) = U\left(-\frac{a}{2} - b\right) = \infty$

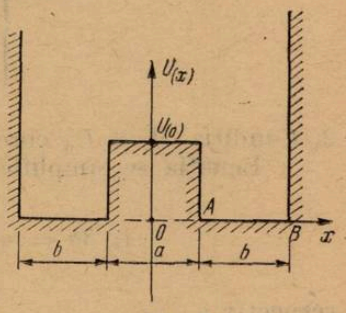


Fig. 1

Rezolvare:

1. Deoarece groapa de potențial este simetrică față de origine, se va lua în considerare doar regiunea $n \geqslant 0$. Ecuația Schrödinger pentru cele două regiuni va fi:

$$\begin{cases} \dfrac{d^2\psi_1}{dx^2} + \dfrac{2m}{\hbar^2}(W - V_0)\,\psi_1 = 0 \quad \text{pentru } 0 \leqslant x < \dfrac{a}{2} \\ \dfrac{d^2\psi_2}{dx^2} + \dfrac{2m}{\hbar^2} W\psi_2 = 0 \quad \text{pentru } \dfrac{a}{2} < x < \dfrac{a}{2} + b \end{cases} \tag{1}$$

Vom nota $\alpha^2 = -\dfrac{2m}{\hbar^2}(u_0 - w)$ și $\beta^2 = \dfrac{2m}{\hbar^2} W$

Condițiile de racordare și la limită vor fi:

$$\psi_1\left(\frac{a}{2}\right) = \psi_2\left(\frac{a}{2}\right);\ \psi_1'\left(\frac{a}{2}\right) = \psi_2'\left(\frac{a}{2}\right);\ \psi_2\left(\frac{a}{2} + b\right) = 0 \tag{2}$$

Soluția generală a ecuațiilor (1) este:

$$\begin{aligned} \psi_1 &= A_1 e^{i\alpha x} + B_1 e^{-i\alpha x} \\ \psi_2 &= A_2 e^{i\beta x} + B_2 e^{-i\beta x} \end{aligned} \tag{3}$$

Se aleg soluțiile simetrice și antisimetrice pentru ψ_1, știind că ele sînt date de condiția

$$\begin{aligned} \psi_{1(x)} &= \psi_{1(-x)} \text{ pentru soluția simetrică și} \\ \psi_{1(x)} &= -\psi_{1-(x)} \text{ pentru soluția antisimetrică} \end{aligned} \tag{4}$$

Această alegere ne va duce la funcția simetrică ψ_1^s, și antisimetrică ψ_1^a, de forma :

$$\begin{cases} \psi_1^s = A_1 (e^{-\alpha x} + e^{\alpha x}) = 2 A_1 \ ch \ \alpha x \\ \psi_1^a = A_1 (e^{-\alpha x} - e^{+\alpha x}) = -2 A_1 \ sh \ \alpha x \end{cases} \tag{5}$$

Din condițiile de racordare și la limită pentru ψ_1 și ψ_2 se deduc coeficienții A_1, A_2, B_2, de unde se obține ecuația nivelelor energetice corespunzătoare stărilor simterice respectiv antisimetrice :

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \beta b = -\dfrac{\beta}{\alpha} \operatorname{ct} h \ \alpha \dfrac{a}{2} \\ tg \ \beta b = -\dfrac{\beta}{\alpha} \operatorname{th} \ \alpha \dfrac{a}{2} \end{cases} \tag{6}$$

2. Condiția $W \ll U_0$ corespunde condiției $e^{-\alpha a} \ll 1$

Ecuația se simplifică dezvoltînd în serie termenul din dreapta :

$$\operatorname{tg} \beta b = -\frac{\beta}{\alpha} \frac{1+e^{-\alpha a}}{1-e^{-\alpha a}} \cong -\frac{\beta}{\alpha}(1-2\,e^{-\alpha a})$$

respectiv

$$\operatorname{tg} \ \beta b = -\frac{\beta}{\alpha}(1+2e^{-\alpha a})$$

pentru stările impare,

Dacă $U_0 \to \infty$, $\alpha \to \infty$ și obținem cazul unei gropi de potențial simplă pentru care $\operatorname{tg} \ \beta h = 0$ care are soluțiile $\beta b = n\pi \ \ n = 0,1,2,\ldots$ și cu nivelele de energie $W_x^0 = \dfrac{n^2 \pi^2 \hbar^2}{2mb^2}$

Pentru nivelele adînci $W \ll U$, nivelele gropii duble de potențial nu vor diferi mult de W_n^0 și deci putem face aproximația

$$W_n = W_n^0 + \Delta W$$

$$\Delta W \ll W_x^0$$

deci

$$\alpha = \sqrt{\alpha_0^2 - \frac{2m}{\hbar^2} \Delta W} \qquad \beta = \sqrt{\beta_0^2 + \frac{2m}{\hbar^2} \Delta W}$$

cu notațiile

$$\alpha_0^2 = \frac{2m}{\hbar^2}(U_0 - w_n^0)$$

$$B_0^2 = \frac{2m}{\hbar^2} W_{0n}$$

și cum $\alpha \approx \alpha_0$, $\beta = \beta_0$ putem dezvolta în serie :

$$\alpha = \alpha_0 \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\Delta W}{u_0 - W_n^0}\right)$$

$$\beta = \beta_0 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{\Delta W}{W_n^0}\right)$$

Ecuația simplificată aproximativă va fi :

$$\delta W_n = W_n - W_n^0 = \frac{8 (u_0 - W_n^0)}{b \alpha_0} e^{-\alpha_0 a}$$

căci $\beta b \ll 1$
Pentru datele concrete

$$W_n^0 = 3{,}45 \text{ eV}$$

$$U_0 - W_{0n} = 6{,}55 \text{ eV}$$

$$\alpha_0 = 1{,}23 \cdot 10^3$$

$$\alpha_0 a = 6{,}15$$

$$e^{-\alpha_0 a} = 0{,}0021$$

$$\delta W_n = 0{,}0036 \text{ eV}$$

$$\frac{\delta W_n}{W_n^0} = 5{,}5 \cdot 10^3$$

Problema 2

Să se calculeze nivelele energetice ale unui atom de hidrogen precum și razele orbitelor corespunzătoare, conform modelului Bohr, presupunînd ca mediul în care se mișcă electronul are o constantă dielectrică egală cu $\varepsilon = 16$. Această problemă corespunde cazului ionului donor V-valent introdus în rețeaua cristalină a Germaniului. Dacă se presupune că nivelul

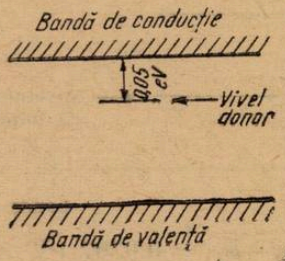


Fig. 2

donor este la o distanță de 0,05 eV de banda de conducție, să se determine cîte nivele legate ale electronului există, știind că toate nivelele ionului donor care se vor situa în zona de conducție vor corespunde unor stări libere pentru electronul respectiv. Sarcina efectivă a centrului atractiv este $Z = 1$.

Rezolvare

Problema se rezolvă identic cu modelul atomic al lui Bohr, pentru hidrogen, cu deosebirea că peste tot se înlocuieşte sarcina e cu $\frac{e}{\sqrt{\varepsilon}}$ ceeace indică o scădere a forţelor electrostatice determinată de existenţa mediului cu constantă dielectrică >1.

In nivelul lui Bohr avem :

$$v_n = \frac{n^2 \hbar^2}{ze^2 m} \qquad E_n = -\frac{mz^2 e^4}{z\hbar^2 n^2}$$

unde Γ_x, E_x sînt raze, respectiv energia orbitei cu număr cuantic n. În cazul de faţă relaţiile vor deveni : $(z = 1)$

$$\Gamma_n = \frac{n^2 \hbar^2 \varepsilon}{me^2}$$

$$E_n = -\frac{me^4}{2\hbar^2 \varepsilon^2 n^2}$$

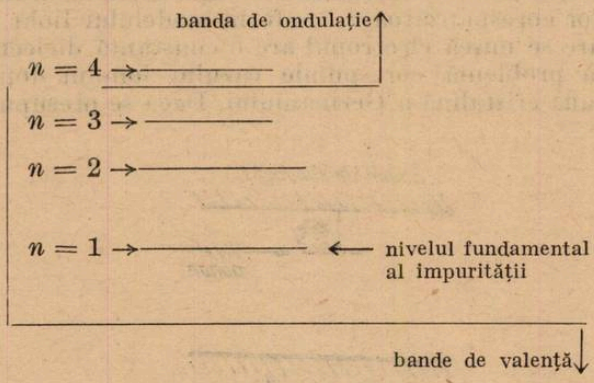
Nivelele de energie vor fi deci :

$$E_n = -\frac{13{,}53}{256 \cdot x^2} \text{ (eV)}$$

$E_1 = -0{,}0542$ eV $\quad E_3 = -0{,}0068$ ev

$E_2 = -0{,}0135$ eV $\quad E_4 = -0{,}0034$ ev

Deci schema de nivele va fi ca în figură.
Faţă de nivelul E care este nivelul fundamental.



$E_2 - E_1 = 0{,}0307$ eV

$E_3 - E_1 = 0{,}0474$ eV

$E_4 - E_1 = 0{,}0508$ eV

$E_5 - E_1 = 0{,}05$ ev

Deci primele trei nivele vor corespunde unor stări legate ale electronului, celelalte fiind în banda de conducţie.

BIBLIOTECA ASTRA

B. B. 6.

I.P.I. — c. 5304

43 459

Lei 3

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL V

6

IUNIE 1968

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR, 23, SECTOR 7 BUCUREȘTI–45, TELEFON 16.42.86

SUMAR

H. Bednar.

Efectul Mössbauer și aplicațiile lui în chimie, biologie și tehnică 201

D. Wagner, C. Deleanu, V. Palenici și C. Sasu

Determinarea spectro-fotometrică a nichelului din aliajul Turbo term 20 co 45. 209

L. Sofonea

Cîmpul mezonic scalar 212

Bulea Nicolae

Studiul efectului izotopic în spectrul de rotație al moleculelor biatomice în funcție de partenerul asociat. 222

Iosef Linkovsky — Conde

Curgerea gazului pe liniile drepte de curent cu aport de căldură. 224

A. Beienaru

Considerațiuni metodice în predarea temei referitoare la electroliză. 231

COMITETUL DE REDACȚIE

Ion Agîrbiceanu, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste Romania); **Teodor Bohățiel**, asist. univ. — redactor; **Simion Bulgarea**, prof. **Maria Codreanu**, prof. **Nicolae Martalogu**, conf. univ.; **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C. Moisil**, conf. univ.; **Alice Nogoescu**, prof.; **Ion C. Petrea**, conf. univ.; **Victor Sahini**, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România). Redactor responsabil: **Constantin D. Albu**, lector univ.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A

Volumul V, nr. 6 iunie, 1968

EFECTUL MÖSSBAUER ŞI APLICAŢIILE SALE ÎN CHIMIE BIOLOGIE ŞI TEHNICĂ.

Conf. Dr. H. *BEDNAR*

Efectul Mössbauer reprezintă de fapt fenomenul de absorbţie de rezonanţă „fără recul" a unor fotoni gama şi a fost descoperit de fizicianul Rudolf Mössbauer în 1958 şi i-a dus acestuia premiul Nobel pentru fizică în anul 1961. (1, 2,3).

Fenomenul de absorbţie de rezonanţă a undelor electromagnetice este bine cunoscut atît în domeniul radio undelor cît şi în domeniul luminii infraroşii, vizibile şi ultraviolete. Întrucît razele γ diferă de celelate unde electromagnetice numai prin frecvenţa lor mai ridicată era de aşteptat ca şi ele să prezinte fenomenul de absorbţie prin rezonanţă.

Studiul spectrelor de emisie şi absorbţie în domeniul vizibil a arătat că : 1) atomul posedă un şir discret de stări energetice, determinate de configuraţia învelişului de electroni, 2) atomul are tendinţa de a se găsi totdeauna în starea cea mai săracă în energie. 3) Dacă trece prin absorbţie de energie într-o stare mai bogată în energie după un interval foarte scurt ($\sim 10^{-8}$ sec) revine la starea fundamentală, emiţînd totodată diferenţa de energie dintre cele două stări sub forma unui foton luminos $E_1 - E_0 = h\gamma \cdot 4$) Dacă se trece lumina albă prin vaporii unui metal, spectrul lui prezintă linii întunecate, inversarea liniilor spectrale : linii Frauenhofer, corespunzător acelor frecvenţe pe care metalul respectiv le-ar fi emis, fiind adus la incandescenţă. 5) Atomii metalului astfel excitaţi optic revin la starea fundamentală emiţînd o radiaţie de fluorescenţă cu aceaşi frecvenţă, numită şi fluorescenţa de rezonanţă.

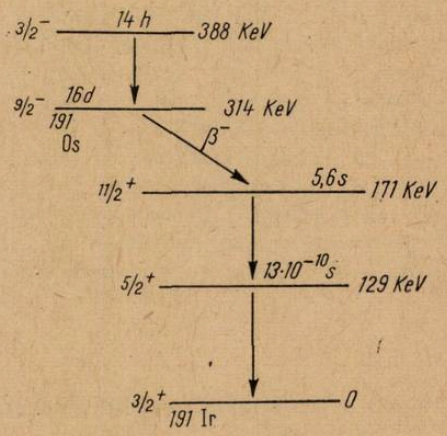


Fig. 1

Nucleul la rîndul său poate prezenta şi el mai multe stări energetice iar energia fotonilor γ corespundă tranziţiilor nucleului de la o stare energetică la alta. Acest lucru reese clar din schema alăturată care reprezintă schema desintegrării ^{191}Os $\rightarrow$ ^{191}Ir.

Toate încercările însă de a transpune principiile absorbţiei de rezonanţă stabilite în domeniul vizibil pentru atomi, la nuclee, n-au fost însă încununate de succes pînă în anul 1951.

Pentru a cerceta cauzele pentru care aceste încercări nu au avut succes am reprezentat în fig. 2, atît cazul fluorescenței de rezonanță ideală *a*) cît și cazul fluorescenței de rezonanță nucleară *b*).

În cazul fluorescenței de rezonanță ideală, atît starea fundamentală cît și cea excitată sînt foarte nete. Starea excitată are însă viața medie τ și conform relației de incetitudine a lui Heisenberg, acest fapt atrage după

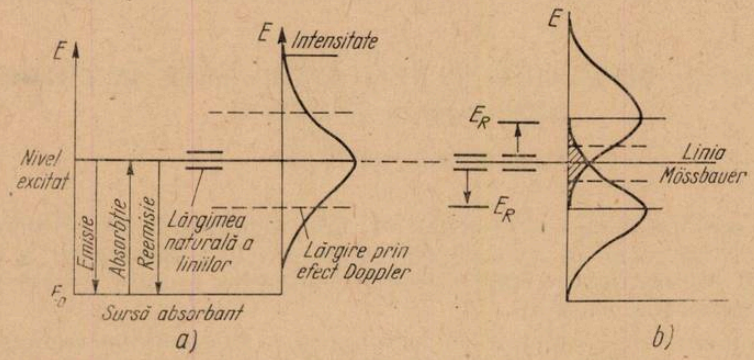


Fig. 2

sine o nesiguranță a energiei de $\Gamma = h/\tau$. Nivelul net E_a se lărgește pînă la Γ. Acesta înseamnă că tranziția $E_a \to E_0$ nu duce de fapt la emisia liniei nete, $E - E_0 = h\gamma$ ci la un spectru distribuit cu semilărgimea Γ în jurul valorii $h\nu$. Semilărgimea Γ se definește și ca lărgime naturală a liniilor.

De cele mai multe ori în cazurile reale, lărgimile liniilor observate sînt cu mult mai mari, datorită efectului Doppler. Aceasta se explică datorită faptului că atomii cît și nucleele atomilor se găsesc într-o continuă mișcare haotică și desordonată datorită mișcărilor termice. Atît linia de emisie cît și cea de absorbție se lărgesc în mod considerabil. Lărgirea datorită efectului Doppler depășește cu cîteva ordine de mărime lățimea naturală a liniilor. Astfel lățimea naturală a liniilor pentru razele γ are ordinul de mărime : 10^{-10}—10^{-4} e.V., pe cînd cele observate au ordinul de mărime $\sim 10^{-1}$e.V.

În cazul absorbției de rezonanță nucleară, mai intervine și efectul de recul. La emiterea unui foton γ, acesta comunică nucleului un recul, care este orientat în sens invers față de direcția de emitere a fotonului γ. Pentru păstrarea cantității de mișcare, impulsul comunicat nucleului trebuie să fie egal cu impulsul fotonului γ, care este dat de relația :

$$p = \frac{E}{C}$$

De aici se calculează pentru energia de recul :

$$R = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m} = \frac{P^2}{2m} = \frac{E^2}{2mC^2}$$

Aceasta înseamnă că linia de emisia numai este distribuită, în jurul valorii E_a, ci este deplasată spre valori mai mici ale energiei cu valoarea R, $E_R = E_A - R$. Din exact aceleași motive linia de absorbție este deplasată spre valori mai mari ale energiei tot cu valoarea cu R, $E_R = E_A + R$

întrucît fotonul va aduce energia suplimentară R. Liniile de emisie și de absorbție sînt deplasate cu valoarea 2 R, una față de alta. Ordinul de mărime al energiei de recul este de : 10^{-2} — 10^{2} e. V., este deci comparabil și chiar mai mare în comparație cu lărgirea datorită efectului Doppler, încît se produce doar o foarte mică suprapunere între linia de emisie și cea de absorbție, după cum se vede din fig. 2 (b).

Din cele arătate rezultă că pierderile mari de recul reprezintă cauza pentru nereușita încercărilor de a pune în evidența fluorescența de rezonanță-nucleară. În domeniul radiațiilor optice deplasarea de recul este foarte mică (mai mică chiar decît lărgimea naturală a liniilor) datorită energiei mult mai mici a fotonilor din domeniul optic.

Prima încercare de a pune în evidență fluorescența de rezonanță nucleară se datorește fizicianului englez Moon (4) care în 1951 a așezat sursa pe o ultracentrifugă și a mișcat-o rapid în spre absorbant, reușind să suprapună linia de emisie peste cea de absorbție, datorită efectului Doppler suplimentar, iar în 1952 suedezul Malmfors (5), a încercat prin mărire de temperatură să obțină o suprapunere mai mare a liniilor de absorbție și emisie.

Un progres remarcabil s-a realizat în 1958 de către Mössbauer (1,2,3). El a pornit de la ideea de a măsura lărgimea naturală a liniilor spectrale γ și prin aceasta viața medie a stărilor excitate ale nucleelor. Drept sursă a ales izotopul ^{191}Ir, tranziția de 129 KeV reprezentată în fig. 3.

Din cauza energiei relativ mici a fotonului și a energiei de recul nu prea mari rezultă că deja la temperatura normală, se produce o suprapunere satisfăcătoare, care să permită măsurarea efectului de absorbție. Micșorînd temperatura, Mössbauer a constatat că aceasta suprapunere se micșorează devenind practic nulă la 180° K (datorită micșorării lărgirii liniilor prin efect Doppler pentru a crește la temperaturi și mai mici din nou, atingînd valori considerabile care depășesc de cîteva ori valoarea suprapunerii la temperatura camerii. Acest fapt părea să fie în contradicție flagrantă cu teoria. Mössbauer a reușit să dea explicația în baza unei teorii stabilite de Lamb (6, 7) pentru absorbția neutronilor, arătînd că întrucît atît atomii iridiului din sursă cît și cei din absorbant sînt legați într-o rețea cristalină, energia de recul duce la vibrații reticulare, care sînt și ele cuantificate. Ori la temperaturi joase, din cauza anharmonicității acestor oscilații, energiile de tranziții sînt maxime pentru stările sărace în energie, încît se poate întîmpla ca energia de recul să nu fie satisfăcătoare pentru excitarea acestor oscilații și energia de recul este preluată de întreaga rețea cristalină ca energie de translație. În aceste condiții fluorescența de rezonanță se produce fără recul. Acest fenomen poate fi comparat cu tragerea unui proectil dintr-un tub care să aibe o masă infinit de mare, cînd energia de recul tinde spre zero.

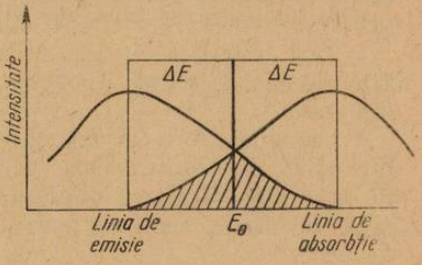


Fig. 3

Teoria arată că fluorescența de rezonanță fără recul este de așteptat la tranziții energetice mai mici ca 150 KeV. Totodată teoria prevede, ceea ce s-a și verificat experimental, că în aceste condiții nu se produce nici lărgirea liniilor spectrale datorită efectului Doppler, ci liniile prezintă lărgimea naturală.

Acest fapt este de o importanţă excepţională, întrucît selectivitatea fluorescenţei de rezonanţă, atinge valori extraordinare şi anume precizia de rezonanţă are ordinul de mărime :

$$\Gamma/E_R = 10^{-12} \text{ faţă de } \Gamma/E \simeq 10^{-8}$$

în cazul traziţiilor optice. Cu ajutorul unor linii spectrale atît de înguste şi precise se pot măsura diferenţe de energie foarte mici cu o putere de rezoluţie neatinsă de nici o altă metodă.

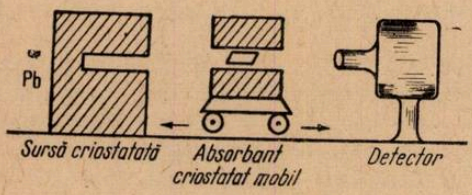


Fig. 4

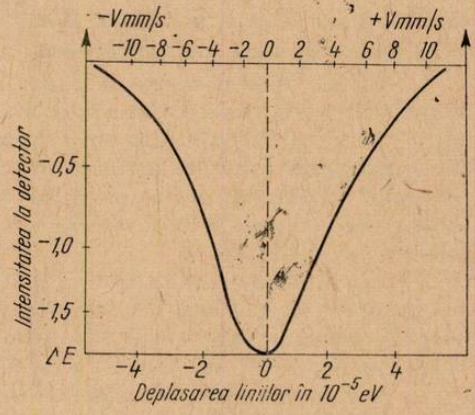


Fig. 5

Dispozitivul experimental este schiţat în fig. 4. Prin mişcarea relativă a sursei şi a absorbantului (criestatate) se variază prin efect Doppler energia fotonului γ emis.

Din cauza preciziei de rezonanţă extrem de mari, sînt suficiente viteze foarte mici de ordinul mm/sec pentru a ridica sau realiza condiţia de rezonanţă. În fig. 5 este reprezentată forma unei linii în funcţie de viteza relativă a sursei faţă de absorbant, respectiv a absorbantului faţă de sursă. La viteza relativă zero absorbţia de rezonanţă este maximă respectiv intensitatea înregistrată cu detectorul minimă.

Cu creşterea vitezei în ambele sensuri se deplasează linia de absorbţie faţă de cea de emisie fie spre valori mai mari ale energiei, fie spre valori mai mici.

Esenţialul în înregistrarea unui spectru de rezonanţă γ, constă în faptul că se compensează toţi fctorii externi care influenţează energia de tranziţie, printr-o deplasare adecvată a absorbantului (absorberului) faţă de sursă, ceea ce permite tocmai măsurarea cantitativă a acestor factori.

Enumerarea acestor factori externi care influenţează energia tranziţiilor γ reprezintă totodată şi o imagine sintetică asupra posibilităţilor de aplicare practică a fluorescenţei de rezonanţă nucleară :

— amplitudinea vibraţiilor termice ale atomilor, permite studierea dianamicii reţelelor cristaline, determinarea temperaturii Debye.

— lărgimea naturală a liniilor, permite determinarea nivelelor energetice nucleare şi viaţa medie a acestor nivele, precum şi determinarea momentelor de dipol şi cuadrupol nucleare.

— dependenţa de temperatură a magnetizării parţiale a reţelelor cristaline, permite determinarea temperaturilor Curie şi Neel, determi-

narea cîmpurilor cristaline în metale, aliaje, superparamagnetismul şi timpul de relaxare pentru electroni.

— Deplasarea de izomerie, permite determinarea stărilor de covalenţă, tipuri de hibridizare, coordinanţe, probleme de structură şi simetrie, din demultiplicarea cuadrovolică, determinări de stări de valenţă, cercetarea unor atomi absorbiţi etc.

Această enumerare foarte sumară arată posibilităţile multiple de aplicare a efectului Mössbauer pentru fizică, chimie, unele ramuri ale tehnicii şi chiar pentru biologie.

Aplicabilitatea spectroscopie de rezonanţă γ este din păcate limitată de îndeplinirea anumitor condiţii.

1. Prima stare energetică nucleară excitată, trebue să aibe o energie de excitaţie mai mică de 150 keV.

2. Lărgimea liniilor trebuie să fie suficient de îngustă.

3. Factorul de conversie trebuie să fie mic (acest factor măsoară raportul între numărul de electroni expulzaţi din învelişul electronic datorită absorbţiei de energie şi numărul de fotoni γ emişi).

4. Viaţa medie a izotopului utilizat pentru măsurători trebuie să fie suficient de mare, întrucît o măsurătoare durează cîteva ore.

5. Spinul nuclear a izotopilor utilizaţi nu trebuie să fie mai mare decît 3/2, întrucît în cazul unui spin nuclear mai mare, spectrul devine prea complex şi greu de descifrat.

6. Efectul Mössbauer poate fi observat numai în faza solidă.

7. Numărul de atomi la care se poate observa efectul Mössbauer este relativ mic. Astfel din numărul total de 104 elemente chimice care se cunosc în prezent, efectul Mössbauer s-a observat la un număr de 32 de elemente.

În tabelul periodic de mai jos s-au marcat prin cîmpuri haşurate elementele la care s-a observat pînă în prezent efectul Mössbauer. La elementele dublu haşurate efectul s-a putut pune în evidenţă şi la temperatura camerii.

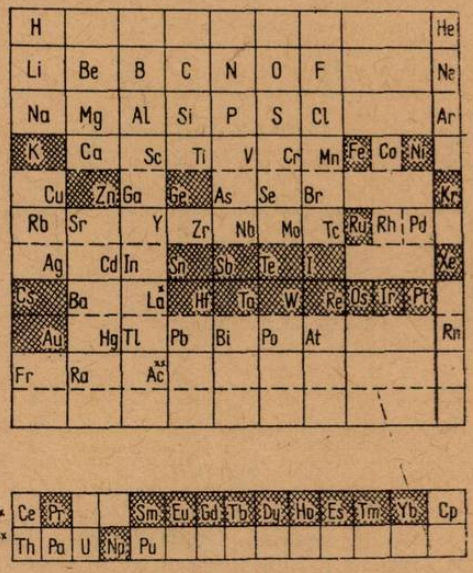


Fig. 6

Aplicaţii.

Pentru aplicaţiile în chimie, biologice şi tehnică cea mai mare importanţă o prezintă deplasarea de izomerie. Pentru a înţelege mai bine fenomenul vom reaminti pe scurt, că din spectroscopie se cunoaşte că liniile spectrale care se datorează stării S a unui electron prezintă o structură hiperfină dacă elementul respectiv este format din mai mulţi izotopi. Fiecărui izotop îi corespunde o componentă de structură hiperfină. Acest efect de izotopie se explică prin interacţiunea electrostatică dintre sarcina electronului cu volumul finit al nucleului. Energia de legătură a electronului S faţă de un nucleu cu raza finită, este mai mică decît energia de legătură care ar rezulta faţă de un nucleu punctiform (cu raza 0). Din

această cauză termenii S se vor deplasa spre energii din ce în ce mai mari cu cît crește masa izotopului (întrucît raza efectivă a sarcinii nucleare se micșorează odată cu creșterea de masă). Efecte analoage se observă în cazul izomerilor unui anumit izotop întrucît în stare fundamentală și cea excitată raza medie a sarcinii nucleare este diferită.

În mod corespunzător la rîndul ei, densitatea de electroni, influențează energia nivelelor nucleare și prin aceasta și energia fotonilor γ emiși. Mărimea variației energiei nivelelor nucleare, depinde de densitatea electronică totală în zona nucleului și se va schimba deci de la combinație la combinație a elementului respectiv. În spre exterior aceasta se traduce prin faptul că viteza relativă a absorbantului față de sursă trebuie modificată pentru a obține rezonanțe, cînd sursa și absorbantul nu sînt identic legați din punct de vedere chimic. Mărimea deplasării de izomerie, depinde de diferența razelor efective a stării fundamentale și excitate a nucleului precum de diferența densității electronilor S, în sursă și în absorbant.

Pentru prima dată acest fenomen a fost pus în evidență în cazul fierului de către Kistner și Sunyar (8). Întrucît combinațiile Fe^{2+} și Fe^{3+}, nu se deosebesc în ceea ce privește ocuparea nivelelor S, deosebirile observate trebuesc puse pe seama ocupării diferite a nivelului d; și anume cei 6 electroni d ai ionului Fe^{2+} exercită o acțiune de ecranare mai puternică asupra electronilor S, decît cei 5 electroni d ai ionului Fe^{3+}. Din această cauză densitatea efectivă a electronilor S în preajma nucleului este mai mare pentru ionul Fe^{3+} față de cazul ionului Fe^{2+}, fapt care se traduce printr-o deplasare mai mică spre valori pozitive ale vitezelor pentru ionul Fe^{3+} față de ionul Fe^{2+}. În schema alăturată sînt trecute valorile deplasărilor pentru diferite trepte de valență ale fierului. Acest fapt permite ca din spectrul Mössbauer să se deducă imediat treapta de valență a fierului în combinația respectivă.

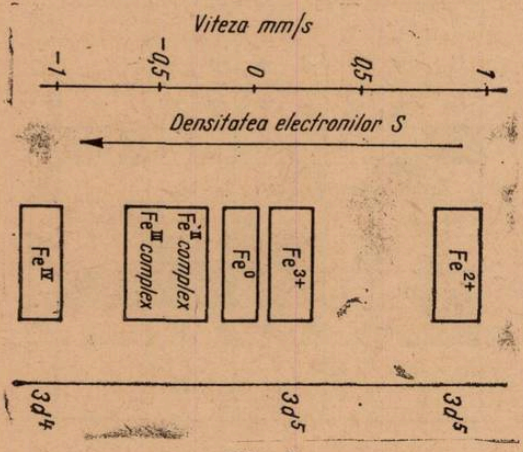


Fig. 7

S-a putut arăta de eexmplu că cele două combinații ale fierului, albastrul de Berlin și albastrul lui Turnbull sînt identice, întrucît dau spectre Mössbauer identice.

Dacă nucleul are un spin nuclear $I_N > 1/2$, el nu mai are simetrie sferică, ci posedă un cuadrupolmoment, care exprimă (sau măsoară) abaterea nucleului de la forma sferică.

Dacă sarcina electrică care înconjoară nucleul este asimetric disuribuită se produce datorită interacțiunii dintre cuadrupolmomentul nucleului și cîmpul electric demultiplicare de $(2\ I + 1)$ ori a nivelelor nucleare (unde I = spinul nuclear). Această demultiplicare este proporțională cu produsul dintre cuadrupolmomentul Q și gradientul cîmpului electric q. Întrucît gradientul cîmpului electric depinde de proprietățile nivelelor electonice p și d, apare posibilitatea de a studia separat contribuția nivelelor s, p și d la o legătură chimică prin corelarea deplasării de izomerie cu demultiplicarea cuadrupolică.

Se poate face în felul acesta o deosebire între schimbarea caracterului ionic unei legături și contribuția fenomenului de hibridizare.

E. Fluck și colab (9) au studiat prusiatele (hexacianoferat în care o grupare CN^-, este înlocuită cu alt ligand) reușind să arate că în cazul în care ionul CN^- să înlocuiește printr-un ligand care poate stabili o legătură π mai puternică, densitatea electronilor d ai atomului central se micșorează și implicit crește densitatea electronilor S în preajma nuceleului și se produce o deplasare de izomerie spre viteze negative. Invers dacă noul ligand stabilește o legătură π mai slabă sau nici una, crește densitatea electronilor d și scade cea a electronilor S în preajma nucleului și se produce o deplasare spre viteze pozitive. Ei au stabilit următoarea serie:

$$NO^+ > CO > C\overset{-}{N} < SO_3^{2-} > NO_2^- \simeq NH_3$$

Goldanskii și colaboratori (10, 11, 12) au studiat combinațiile organometalice ale Sn cu ajutorul tranziției de 23,8 KeV a ^{119}Sn, ajungînd la următoarele concluzii.

1) Pentru combinația Sn^4 crește deplasarea de izomerie spre viteze pozitive odată cu scăderea de electronegativitate a elementului legat de Sn($F > 0 > Cl > Br > I$)

2) Pentru combinația Sn^{2+} deplasarea de izomerie se află la viteze pozitive mult mai mari.

3) O demultiplicare cuadrupolică se constată numai la combinațiile Sn^{2+}.

4) Mărimea demultiplicării cuadrupolice descrește odată cu descreșterea electronegativității a elementului legat de Sn.

În 1962 s-a dezvoltat în U.R.S.S. un aparat portabil (7) cu sursă de Sn, pentru analiza rapidă a minereului de Sn. În cîteva minute se poate stabili exact conținutul în Sn (după o prealabilă etalonare a aparatului) a minereului respectiv, ceea ce reprezintă un ajutor prețios în prospecțiunile geologice.

Flynn, Ruby și Kehl (13) au arătat în 1964 că efectul Mössbauer este dat și de atomi adsorbiți pe suprafața unui suport. Această descoperire deschide perspectivele studierii catalizatorilor, fenomenelor de adsorbție și chemisorbție.

Goldanski și colab. (14) au cercetat acțiunea de solvatare a unor solvenți neapoși, care pînă acum a putut fi evaluată doar indirect prin influența lor asupra vitezei de reacție. Efectul Mössbauer oferă posibilitatea directă de a compara puterea de solvatare a acestor solvenți întrucît la utilizarea de clorură de d dibutilstaniu, solvatarea cauzează o deformare a simetriei cîmpului din jurul metalului ceea ce influențează direct mărimea demultiplicării cuadrupolice a Bn_2SnCl_2. Pe baza acestor cercetări, autorii amintiți au stabilit următoarea serie a puterilor de solvatare, luînd dietileterul ca etalon:

Dietileter *1* tetrahidrofuran 7, dimetoxietan 10, hexametiltriamidofosfat 15,5 dimetilformamidă 16, dimetilsulfoxid 18. Această scară corespunde în general cu datele furnizate de alte metode.

Folosind o sursă de ^{129} Perlow (15) a reușit să pună în evidență $XeCl_4$, tetraclorura de xenon.

În ultimii doi — trei ani efectul Mössbauer a putut fi aplicat cu succes și în rezolvarea unor probleme biologice [16, 17] datorită faptului că fierul, unul din cei mai importanți atomi Mössbauer, intră în componența

multor enzime şi fermenţi, în componenţa hemoglobinei ca şi în toţi acizii nucleici naturali.

De exemplu virusul mozaicului de tutun conţine 0,001% fier. Dacă se îndepărtează acest fier, îşi pierde proprietăţile toxice şi infecţioase şi molecula de acid ribonucleic se descompune în fragmente mai mici. Dacă se adaugă fier, se regenerează molecula de acid ribonucleic şi proprietăţile infecţioase ale virusului apar din nou. Cu ajutorul spectrelor Mössbauer s-au putut arăta că fierul este trivalent şi este legat coordinativ prin intermediul unor zaharuri. Se întrevede posibilitatea de a putea decide din starea de legătură a fierului asupra deosebirilor de acţiune ale acidului ribonucleic şi desoxiribonucleic.

O altă aplicaţie interesantă o reprezintă măsurarea amplitudinilor vibraţiilor membranei din ureche. Hillman şi colab. (18) au fixat pe această membrană o minusculă sursă de ^{57}Co şi au folosit fier ca absorbant. Cunoscîndu-se frecvenţa vibraţiilor acustice, s-a putut din deplasarea Doppler să se măsoare amplitudinea vibraţiilor membranei cu o precizie de 1 — 2 Å.

Încheere.

Aceste cîteva exemple amintite arată posibilităţile multiple pe care le oferă efectul Mössbauer pentru studiul structurii combinaţiilor chimice tipului de legătură, tipului de hibridizare etc. Posibilităţile de a utiliza acest efect pentru analiza cantitativă rapidă, în conţinutul anumitor elemente etc. Totodată se întrevăd şi limitele de aplicare ale acestui efect, care în prezent însă nici pe de parte nu sînt încă epuizate.

BIBLIOGRAFIE

1. *R. L. Mössbauer*: Z. Physik **151** 124 (1958)
2. *R. L. Mössbauer*: Naturwissenschaften **45** 538 (1958)
3. *R. L. Mössbauer*: Z. Naturforsch. **14 a** 211 (1959)
4. *P. B. Moon*: Proc. physic. Soc. **64** 76 (1951)
5. *K. G. Malmfors*: Ark. Pysik **6** 49 (1953) (citat după 6)
6. *G. Stolze*: Z. Chemie **6** 81 (1966)
7. *N. I. Goldanshii*: Angew. Chemie **79** 844 (1967)
8. *O. C. Kistner, A. W. Sungar*: Physic. Rev. Letters **4** 412 (1960)
9. *E. Fluck, W. Kerler W. Neuwirth*: Z. Anorg. allg. Chemie **333** 235 (1964)
10. *V. I. Goldanskii V. I. Rocev, V. V. Cherapov*: Doklad. Akad. Nauk SSSR **156** 909 (1964)
11. *I. P. Suzdalev, V. I. Goldanskii E. F. Makarov A. S. Placinda. L. A. Korytko*: J. exp. i teoreticeschoi pizikii **49** 1424 (1965)
12. *V. S. Spinel, V. A. Brahanov, N. N. Deljyghin*: J. exp. i teoret. Fizikii **41** 1347, 1767 (1961).
13. *P. A. Flynn, S. L. Ruby, W. L. Kehl*: Science (Washington) **143** 1434 (1964)
14. *V. I. Goldanskii, O. Ju. Ochlobystin, V. Ju. Rocev V. V. Chrapov.* J. organometal. Chemistry **4** 160 (1965)
15. *G. J. Perlow, M. R. Perlow*: Rev. mod. Phyisits **36** 353 (1964) ; J. chem. Physic **41** 1157 (1964)
16. *H. S. Loring, Y. Fujimoto, L. F. Eng*: Proc. nat. Acad. Sci USA **45** 287 (1959)
17. *R. A. Stukan, A. N. Ihina, Ju. S. Moskovskii V. I. Goldanskii*: Biofizica **10** 343 (1965) **11** 524 (1966)
18. *P. Hillmann, H. Scheckter, M. Rubinstein*: Rev. mod. Physic **36** 360 (1964)

DETERMINAREA SPECTROFOTOMETRICĂ A Ni DIN ALIAJUL TURBO–TERM 20 CO 45

Colectiv : şef lucr. *WAGNER DORA* Asist. *DELEANU CORALIA* Asist. *PALENICI VOICA* şef. lucr. *SASU CONSTANTA*

Aliajul turbo-term 20CO45, avînd o compoziţie diferită de cea a oţelurilor obişnuite, şi conţinînd foarte multe elemente de aliere, unele în cantităţi destul de mari, necesită metode deosebite de determinare.

Compoziţia aliajului studiat este următoarea :

C = 0,40% ; Si = 0,49% ; Mn = 1,2% ; Cr = 19,45% ; Mo = 4,19% ; Ni = 19,88% ; W = 4,55% ; Co = 43,07% ;Nb = 3,08 % ; Fe = 2,81%.

Dificultatea determinării elementelor care se găsesc în cantităţi mari precum şi faptul că am fost solicitaţi de către uzina „Hidromecanica" Braşov în rezolvarea problemelor dificile, ne-au făcut să abordăm o metodă mai simplă şi în acelaşi timp destul de exactă pentru determinarea nichelului din acest aliaj.

În prezenta lucrare propunem o metodă de determinare spectrofotometrică a Ni din aliajul turbo-term 20 CO 45.

Principiul metodei constă în separarea nichelului de majoritatea elementelor din aliaj, prin extracţie cu soluţii concentrate de ditizon (1,2) şi apoi determinarea spectrofotometrică a Ni sub formă de nichel dimetilglioximă, în soluţie amoniacală în prezeţă unor puternici agenţi oxidanţi. În aceste condiţii, Ni formează cu dimetilglioxima un complex solubil de nichel tetravalent (4.5).

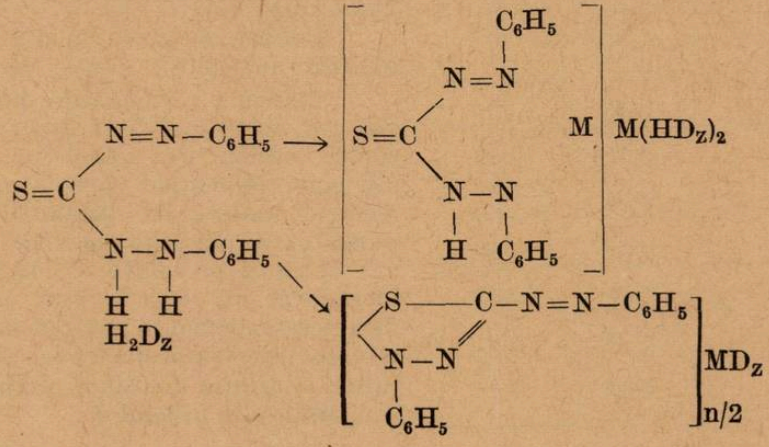
Menţionăm faptul că ditizonul a fost folosit pînă acuma numai pentru cantităţi de metale în ordinea microelementelor (3). În literatura de specialitate nu există nicio metodă în care se foloseşte ditizonul pentru extracţii de cantităţi mari de Ni cum se găseşte în aliajul nostru.

Am folosit metoda extracţiei întrucît aceasta este simplă şi se aplică din ce în ce mai mult în chimia analitică.

Ditizonul, sau difenilcarbazonul de compoziţie

$$C_6H_5-N=N-CS\,NH-NH-C_6H_5$$

este o substanţă organică care are proprietatea de a forma complecşi interni cu diferite metale, complecşi care sînt solubili în solvenţi organici (3).



Metalele care se complexează cu ditizon sînt metalele care în tabelul Nr. 1 se găsesc încercuite (6).

Din tabelul Nr. 1 rezultă că Ni se poate separa de crom, molibden, wolfram, niobiu, elemente care se găsesc în aliajul turbo-term analizat.

Metalele mangan, fier şi cobalt care dau şi ele complecşi cu ditizonul nu împiedică determinarea nichelului din următoarele motive :

Complexul primar $Mn(HDz)_2$ se descompune imediat la aer din cauza oxidării Mn^{+2} deci acesta nu trece în faza organică la extracţie.

Tabelul 1

Io	IIo	IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	VIII b			Ib	IIb	IIIo	IVo	Vo	VIo	VIIo	O
H																	2 He
												B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
Li 3	Be 4																
No 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
K 19	Co 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	J 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	Lo 57	Hf 72	To 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Ti 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
Fr 87	Ra 88	Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92												

Tabelul 2

Numărul probelor	Ni %	Eroare %
1	19,78	−0,1
2	19,95	+0,07
3	19,98	+0,1
4	19,78	−0,1
5	19,88	−
6	19,98	=0,1
7	19,95	+0,07
8	19,88	−
9	19,59	−0,29
10	19,95	+0,07
11	17,78	−p,1
12	19,98	+0,1

Ionul feric Fe^{3+} se poate complecsa cu acid citric şi astfel se împiedecă formarea complexului fierului cu ditizonul.

Cobaltul cu toate că se extrage şi el cu ditizonul nu împiedică determinarea nichelului cu dimetilglioxima, deoarece lucrîndu-se în mediu puternic oxidant cobaltul aflîndu-se la valenţa + 3 nu reacţionează cu dimetilglioxima (3) Dîmov pag. 351.

Pentru a creia mediu puternic oxidant am folosit soluţia de iod n/10.

Pentru a verifica cele arătate mai sus am făcut mai întîi determinări cu soluţii etalon de nichel în care am adăugat elementele care ar putea împiedica analiza, în proporţiile corespunzătoare aliajului nostru. Rezultatele obţinute pe soluţii etalon au arătat întradevăr că erorile sînt neglijabile deci aceste elemente nu împiedică determinarea spectrofotometrică a Ni. Rezultatele obţinute folosind aliajul nostru sînt arătate în tabelul 2.

Bazîndu-ne pe aceste rezultate propunem următoarea metodă de determinare spectrofotometrică a Ni din aliajul turbo-term 20 CO 45.

Modul de lucru:

Reactivi:
- Acid clorhidric concentrat
- Acid azotic concentrat
- Acid sulfuric concentrat
- Apă oxigenată 30%
- Acid citric soluție 10%
- Soluție de iod O,1 N
- Soluție de dimetilglioximă 1% în alcool etilic 95%
- Soluție concentrată de ditizon în cloroform.

Modul de lucru:

0,25 g șpan se dizolvă în apă regală, se aduce la sec și se reia cu HCl conc., apoi se filtrează siliciul, niobiul și wolframul. Filtratul se trece într-un balon cotat de 250 ml. Din acesta se iau 10 ml, se introduc într-o pîlnie de separare, se diluează cu 25 ml apă distilată, se adaugă 3 vîrfuri de spatulă de acid citric pentru complexarea fierului, se neutralizează cu NH_4OH pînă la pH = 8—9 și se extrage de 3 ori cu soluția de ditizon în cloroform (25 ml + 15 ml + 5 ml), apoi se spală cu 10 ml cloroform pentru separarea completă a urmelor de ditizonat din faza apoasă.

Ditizonații extrași se distrug cu 25 ml H_2SO_4 1:1 și apă oxigenată 30%, după ce s-a evaporat tot cloroformul pe baia de apă.

Se diluează puțin proba, se neutralizează cu NH_4OH la pH = 3 și se aduce la balon cotat de 100 ml. De aici se pipetează 2,5 ml într-un balon de 50 ml, în care se mai adaugă 15 ml apă distilată, 2 ml acid citric 10% și 7 picături soluție de iod n/10.

Se adaugă apoi 5 ml amoniac concentrat și 2 ml soluție de dimetilglioximă 1%. Se aduce la semn cu apă distilată, se agită și se lasă în repaus 10—30 min., după care se măsoară densitatea optică a soluției într-o cuvă de 1 cm^3 cu spectrofotometru în comparație cu o soluție martor.

Concluzii

Întrucît această metodă a dat rezultate care se încadrează în erorile admise de stas propunem aplicarea ei în uzine.

BIBLIOGRAFIE

(1) *V. D. Anand, G. S. Desemnh* și *C. M. Pandey*: Z fur analitische chemie 1952 135 (1963)
(2) *Georg Iwantscheff*: Das Dithizon und seine Anwendung in der Mikro — und Spuren analyse.
(3) *Dimov* — Analiza tehnică a minereurilor și metalelor (351)
(4) *A. Liberman* (Analyst 1955, 80, 595)
(5) *Analyse der metalle*: vol. II partea I-a, pag 544
(6) *Wagner Dora, Deleanu Coralia, Pajorin Clara, Sasu Constanța, Palenici Voica* „Determinarea spectrofotometrică a Co din aliajul 20 CO 45" Sub tipar în Buletinul Institutului Politehnic Brașov 1966.
(7) Unicom Instruments Ltd. Metode Nr. 22.
(8) Unicom Instruments Ltd. Metode Nr. 31.

CÎMPUL MEZONIC SCALAR

de lector *LIVIU SOFONEA* Institutul politehnic Braşov

I. Legea de mişcare a mezonuluui

Ideia după care forţele nucleare sînt forţe de schimb, transmise de anumite particule, (iniţial ipotetice, şi analoage cu fotonii care transportă cîmpul electromagnetic) a primit o primă concretizare odată cu stabilirea celei mai simple ecuaţii cuantice şi relativiste a undelor asociate. Această ecuaţie, obţinută pentru prima oară în 1926 de O. Klein are de la început un caracter relativist, (spre deosebire de ecuaţia lui Schrödinger). Ea exprimă legea de mişcare a microparticulei, adică propagarea cîmpului scalar φ, care, descrie toate proprietăţile sistemului şi are un sens probabilistic. După cum se ştie ecuaţia lui Klein a fost stabilită de acesta tratînd-o ca pe o ecuaţia a undelor analoagă ecuaţiei lui d'Alembert, dar într-un spaţiu pentadimensional auxiliar. Funcţia de undă depinde astfel de cinci variabile : cea de a cincea, care nu-şi face simţită prezenţa în efecte fizice, apare la exponent :

$$\Psi = \Psi(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = \psi(x, y, z, t)\, e^{iK_0 x_5} \tag{1.1}$$

Se impune astfel o anumită condiţie de ciclicitate destul de artificială. Curînd după această lucrare ecuaţia, numită astăzi ecuaţia undelor a lui Kleih şi Gordon, a fost stabilită de mai mulţi autori pe o cale obişnuită, care aminteşte de fapt de stabilirea ecuaţiei lui Schrödinger într-un spaţiu cuadridimensional obişnuit.

Sub aspect corpuscular mişcarea unei particule libere de masă m este decrisă de energia E şi de impulsul $\vec{p}$, mărimi legate între ele prin relaţia relativistă (clasică)

$$[E^2 - c^2 (p_x^2 + p_y^2 + p_z^2) - m^2 c^4] = 0 \tag{1.2}$$

Sub aspect cuantic, această relaţie a fost considerată ca un operator ca o relaţie între operatori, (principiul de corespondenţă), aşa cum s-a făcut mereu în mecanica cuantică. Operatorii energiei şi impulsului se postulează astfel

$$E = -\frac{h}{2\pi i}\frac{\partial}{\partial t}\ ;\ \hat{p} = \frac{h}{2\pi i}\frac{\partial}{\partial r} \text{ etc } \vec{p} = \frac{h}{2\pi i}\nabla \tag{1.3}$$

$$[E^2 - x^2 \hat{p}^2 - m^2 c^4]\, \psi(\vec{r}, t) = 0 \tag{1.4}$$

Această postulare reia expresia folosită în mecanica cuantică nerelativistă care a condus la ecuaţia lui Schrodinger, prin operaţionalizarea aproximaţiei nerelativiste a legii de mişcare clasice

$$E_{cl} = \frac{p^2}{2m} = \frac{1}{2m}(p_x^2 + p_y^2 + p_z^2) \tag{1.5}$$

Modul acesta de a introduce operatorii este îndreptăţit şi prin simetria relativistă dintre coordonate şi timp, ca şi dintre energie şi impuls, energia fiind mărimea invariantă la o translaţie temporală, iar vectorul impuls la una spaţială (h este constanta lui Planck ; c care nu apare în structura

operatorilor cuantici, este constanta relativistă a vitezei luminii). S-a obținut astfel ecuația undelor cuantice, relativiste :

$$\left[\nabla^2 - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2} - \left(\frac{2\pi cm}{h}\right)\right]\psi = 0 \tag{1.6}$$

$$\hat{L}\psi = 0 \tag{1.7}$$

Înlocuind masa m prin,

$$m \equiv \frac{h}{2\pi c} K_0 \tag{1.8}$$

obținem cea mai simplă ecuație cuantică relativistă de undă.

$$\left(\nabla^2 - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2} - K_0^2\right)\psi = 0 \tag{1.9}$$

În tratarea cu pentadimensională, se ajunge la eceastă ecuație impunînd o condițiile de ciclicitate care se traduce prin

$$\frac{\partial^2}{\partial x_5^2} = -K_0^2 \tag{1.10}$$

derivata referindu-se la funcția pentadimensională $\psi(\vec{r}, t)e^{iK_0 x_5}$ Această interpretare s-a dovedit a fi superfluă.

Ecuația stabilită pe baza acestor considerente nu spune încă nimic de sursele care generează undele cuantice $\rho(\vec{r}, t)$. Se postulează o ecuație a undelor neomogene, procedînd la o generalizare a ecuației undelor electromagnetice neomogene

$$\left(\nabla^2 - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2}\right)\varphi = -4\pi\rho \tag{1.11}$$

Se postulează astfel ecuația

$$\hat{L}\,\psi = \left(\nabla^2 - \frac{1}{c^2}\frac{\partial}{\partial t^2} - K_0\right)\psi = 4\pi\,\rho_h \tag{1.12}$$

constanta $K_0 \neq 0$ este un termen legat de masa de repaos. Ecuația descrie cîmpul particulelor ca o masă de repaos, $m = \frac{\hbar}{c} K_0$ nenulă, creat de o sursă (nucleară) de densitate $\rho_h(\vec{r}, t)$. Cîmpul ψ fiind descris de o funcție monocomponentă, care își păstrează prin definiție forma la o schimbare a axelor, mezonii asociați acestui cîmp se numesc mezoni scalari (el are un analog clasic direct).

Să examinăm acum o variantă și mai simplificată a legii de mișcare a cîmpului ψ, și anume să ne mărginim la aproximația statică. Această aproximație permite o analogie între interacția mezonică specific nouă, și cea gravitațională, care nu joacă un rol de seamă în lumea nucleară. Cîmpul newtonian este descris printr-un potențial gravitațional, pe care-l vom nota cu φ, care se determină prin ecuația diferențială

$$\nabla^2\varphi = 4\pi\,\rho_g \tag{1.13}$$

m fiind masa corpului iar ρ_g distribuţia acestei mase. χ este constanta universală. Presupunînd, în deplin acord cu ideile newtoniene despre sursele de cîmp masa punctuală, şi plasată în originea axelor, vom descrie densitatea surselor gravitaţionale cu ajutorul funcţiei delta a lui Dirac :

$$\rho_g = x\, m \cdot \delta\,(\vec{r}) \tag{1.14}$$

Valoarea potenţilului φ la distanţa r de sursă se obţine din această ecuaţie, (cu condiţii la limită obişnuită; adică anularea la infinit). Rezultatul este binecunoscutul potenţial newtonian

$$\varphi = -\, x\frac{m}{r} \tag{1.15}$$

Energia potenţială de interacţiune dintre două mase egale situate la distanţa r una de cealaltă va fi

$$V = m\,\varphi = -\frac{xm^2}{r} = -\frac{\sqrt{x}m \cdot \sqrt{x}m}{r} \tag{1.16}$$

m fiind „sarcina" corpului (ea coincide cu masa) şi se determină experimental (de fapt sarcina gravitaţională trebuie pusă în sisteme de unităţi adoptat $\sqrt{x}m = m'$; în sistemul de unităţi gravitaţional $x = 1$ şi deci sarcina coincide cu masa : Atunci legea newtoniană a atracţiei este legea dinamică prin care se poate determina forţa şi masa).

Forţele nucleare nu au însă toate caracteristicile formale ale forţelor gravitaţionale ; în special scăderea cu distanţa diferă în mod radical, aşa că nu am putea substitui pur şi simplu sarcina gravitaţională $m\sqrt{x}$ cu o sarcină nouă specifică, mezonică, care (analog cu cea electrică) va descrie capacitatea mezonului de a crea acest cîmp de natură diferită.

$$m\sqrt{x} = g \tag{1.17}$$

În acest caz, (cu această legătură dintre nucleoni şi cîmpul nuclear) am ajunge la forţe cu acţiune la distanţă mare

$$V \sim \frac{1}{r} \tag{1.18}$$

în locul forţelor cu acţiune la distanţă mică cerute de experienţă. De aceea trebuie înlocuit (1.15) şi deci şi (1.16), prin expresii care să asigure cel puţin caracterul de acţiune la mică distanţă. Prin urmare trebuie să schimbe însăşi ecuaţia cîmpului. Este indicat a lua aproximaţia statică a legii (1.12), ceea ce desigur perturbă caracterul simetriei spaţio temporale relativiste, prezente în ecuaţia lui Klein :

$$(\nabla^2 - K_0^2)\,\psi = 4\,\pi\,\rho_h \tag{1.19}$$

sau

$$(\nabla^2 - K_0^2)\,\psi = 4\,\pi\, g \cdot \delta\,(\vec{r}) \tag{1.20}$$

Această ecuaţie generalizează astfel pe cea a gravitaţiei (ecuaţia Laplace-Poisson), prin prezenţa factorului K_0^2, care clasic este o simplă

corecție, iar cuantic un termen de masă, legat de masa $m \equiv \mu$ a mezonilor cîmpului. (Am specificat prin μ faptul că masa se referă la mezoni). Reținem că am operat astfel o generalizare față de cazul cîmpului gravitațional, și o aproximare față de cerințele relativității (dealtfel ecuația generală a gravitației nu este $\nabla^2 \varphi = 4 \pi \rho$ ci ecuația tensorială a lui Einstein, ecuație cu simetrie spațio-temporală care prevede propagarea gravitației, iar nu numai o simplă acțiune în funcție de distanță, ca în ecuația statică inițială). De altfel o generalizare (liniară) a ecuației lui Poisson a fost impusă și de studiul altor fenomene remarcabile (clasice). Anume în teoria newtoniană a potențialului φ se cunoaște o dificultate care nu poate decît introducînd un factor $- K_0^2 \varphi$. Această dificultate apare în comnologie: ecuația lui Poisson nu are o soluție finită pentru o distribuție uniformă a densității surselor $\rho = \text{const.}$ în întregul spațiul. Pentru a înepărta această dificultate s-a propus completarea ecuației lui Poisson cu un termen suplimentar cosmologic (Neumann, Seeliger), $-K_0^2 \varphi$, și atunci ecuația generalizată (tot statică) a gravitației este

$$\nabla^2 \varphi - K_0^2 \varphi = - 4 \pi \rho \tag{1.21}$$

Această ecuație conduce pentru o distribuție uniformă în spațiu a surselor care generează cîmpul (masele astrelor), ρ, la un potențial φ care va fi deasemenea finit și constant

$$\varphi_{corectat} = \frac{4\pi\rho}{K_0^2} \tag{1.22}$$

$$\lim_{K_0 \to 0} \varphi_{corectat} = \infty \tag{1.23}$$

Această dificultate persistă și în teoria generalizată a gravitației (teorie relativist covariantă, cuadridimensională), încît pentru a o evita chiar Einstein a presupus că ecuațiile sale pentru cîmpul gravitațional trebuiesc corectate cu un termen cosmologic, analog corecției lui Seeliger. Dificultatea este legată prin urmare de însăși structura ecuației. Ea se poate înlătura fără a face apel la un termen cosmologic,(deci de fapt la un factor empiric și la o ipoteză nouă despre transmiterea gravitației), trecînd la o structură a universului care să depindă explicit de timp. Anume ecuațiile einsteiniene se referă la potențialele gravitaționale $g_{\alpha\beta}$, care alcătuiesc tocmni tensorul metric $g_{\alpha\beta}(\vec{r})$ care descrie relațiile spațio-temporale (în universul cuadridimensional curb; geometrie riemaniană). Se presupune așa cum a indicat A.A.Friedmann că acest tensor matric $g_{\alpha\beta}(t)$ depinde de timp: cu această supoziție se înlătură, dificultatea cosmologică, dar se admite astfel expansiunea universului. O ecuație similară cu (1.21) a fost obținută și în teoria electroliților tari (Debye, Huckel), cît și în teoria fenomenologiei macroscopică a superconductibilității (London). În ambele teorii φ se referă la potențialele electromagnetice iar constanta esențial pozitivă K_0^2 are diferite semnificații. Astfel în teoria lui London

$$K_0^2 = \frac{4\pi n e^2}{mc^2} \tag{1.24}$$

n fiind numărul electronilor în unitatea de volum, e sarcina electronului iar m masa sa. De remarcat că studiul acestei ecuații a arătat că ea conduce într-adevăr la efecte care se resimt în mod esențial numai la distanța

$\lambda \sim \frac{1}{K_0}$. Astfel în supraconductor cîmpurile pătrund pînă la această adîncime (K_0^{-1}). Aşa dar această ecuaţie poate descrie şi caracterul forţelor nucleare : acţiunea apropiată. Acest lucru se referă şi la teoria electroliţilor, subliniind astfel în termeni cantitativi, analogia (indicată faptele experimentale ; bunăoară densitatea constantă) care există între o picătuă de lichid şi „substanţa nucleară" concepută ca o „pastă" continuă de o densitate enormă.

II. Potenţialul cîmpului mezonic.

Să studiem ecuaţia interacţiei mezonice statice care generalizează ecuaţia lui Poisson. Densitatea statică ρ_A a sarcinilor nucleare (a nucleonilor : protoni şi neutroni) trebuie exprimată prin constanta de sarcină g, şi cum distribuţia de sarcini se referă la microparticule despre a căror structură nu putem spune nimic, le vom considera punctuale

$$(\nabla^2 - K_0^2)\,\psi = 4\pi g \cdot \delta(\vec{r}) \tag{1.25}$$

Deocamdată vom ignora valoarea constantă a sarcinei g, care în definitiv se stabileşte tocmai prin acordul acestei teorii cu experienţa şi vom integra ecuaţia corespunzătoare lui $g = 1$. De asemenea nu vom specifica valoarea explicită a lui K_0^2 tratîndu-l ca pe un parametru clasic, al cărei sens fizic cuantic l-am clarificat ceva mai înainte. (Vom folosi notaţia cu φ, subliniind analogia strînsă cu un cîmp clasic, (1.21),

$$\nabla^2\varphi - K_0^2\varphi \equiv \hat{L}\varphi \tag{1.26}$$

$$\hat{L}\varphi = -4\pi\rho \tag{1.27}$$

Pentru soluţionarea ecuaţiei se va construi funcţia lui Green,

$$G(\vec{r}', \vec{r},) = -\hat{L}^{-1}\cdot\delta(\vec{r}' - \vec{r}) \mid = G_0 + G_4 \tag{1.28}$$

Pentru determinarea soluţiei nesingulare, G_0 va trebui să integrăm ecuaţia omogenă a cîmpului

$$\hat{L}G_0 = \nabla^2 G_0 - K_0 G_0 \tag{1.29}$$

Pentru a determina partea singulară G_1 a funcţiei lui Green, va trebui să integrăm (conform cu teoria generală a rezolvării ecuaţiilor cu derivate parţiale liniare, prin metoda funcţiilor lui Green), ecuaţia

$$\hat{L}G_1 = \nabla^2 G_1 - K_0^2 G_1 = -\delta(\vec{r} - \vec{r}') \equiv -\delta(\vec{R}) \tag{1.30}$$

$$\hat{L} = a_0 + a_{11}\frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + a_{12}\frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + a_{13}\frac{\partial^2}{\partial x_3^2} =$$

$$= -K_0^2 + \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \tag{1.31}$$

$\hat{L}$ este operatorul liniar care descrie cîmpul (ecuaţia), care în notaţia teoriei generale, se scrie (fără 4π) ; ca, în (1.28)

$$\hat{L}\varphi(x_1, x_2 \ldots) = -\rho(x_1, x_2 \ldots) \tag{1.32}$$

Folosind pentru funcţia $\delta(\vec{R})$ reprezentarea ei în integrală Fourier (tridimensională) vom avea

$$G_1 = -\frac{1}{(2\pi)^3}\int\frac{e^{i\vec{K}\vec{R}}}{-K_0^2+(iK)^2+(iK_2)^2+(iK_3)^2}\,dK_1\,dK_2\,dK_3 =$$

$$= +\frac{1}{8\pi^3}\int\frac{e^{i\vec{K}\vec{R}}}{K_0^2+(K_1^2+K_2^2+K_3^2)}\,dK_1\,dK_2\,dK_3 \equiv$$

$$\equiv \frac{1}{(8\pi)^3}\int\frac{e^{i\vec{K}\vec{R}}}{K_0^2+K^2}\,(d\vec{K}) \qquad (1.33)$$

Alegînd axa K_3 în direcţia vectorului $\vec{R}=\vec{r}-\vec{r}'$ şi trecînd la coordonate sferice (în spaţiul vectorilor de undă k faţă de care se face integrarea (vom avea)

$$G_1 = \frac{1}{8\pi^3}\int_0^\infty\int_{\theta=0}^{\pi}\int_{\varphi=0}^{2\pi}\frac{K^2\sin\theta\,e^{iKR\cos\theta}}{K_0^2+K^2}\,d\theta\,d\varphi\,dK =$$

$$= \frac{1}{8\pi}\int_0^\infty\frac{K^2\,dK}{K_0^2+K^2}\int_0^\pi e^{iKR\cos\theta}\sin\theta\,d\theta\int_0^{2\pi}d\varphi = \frac{1}{8\pi^3}\int_0^\infty\frac{K^2\,dk}{K_0^2+K^2}\left(\frac{4\pi\sin KR}{KR}\right) =$$

$$= \frac{1}{2\pi^2}\frac{1}{R}\int_0^\infty\frac{K\sin KR}{K_0^2+K^2}\,dK \qquad (1.34)$$

Integrala unghiulară calculabilă prin substituţia $\cos\theta=\zeta$ a fost notată în paranteză ; cea în raport cu K se efectuează prin metoda rezidurilor. Să trecem în planul complex. Vom aplica formula lui Euler

$$KR \equiv \zeta = \xi + i\,\eta \qquad (1.35)$$

$$\sin KR = \sin\zeta = \frac{e^{iKR}-e^{-iKR}}{2i} \qquad (1.36)$$

Atunci

$$I = \frac{1}{2\pi^2}\frac{1}{R}\int_0^\infty\frac{K\sin KR}{(K_0^2+K^2)}\,dK \equiv \frac{1}{2\pi^2}\frac{1}{R}\left[\int_0^\infty\frac{K}{K^2+K}\frac{1}{2i}(e^{+iKR}-\right.$$

$$\left.-e^{-iKR})\,d\,K = \frac{1}{2i}\int_0^\infty\frac{K}{K^2+K_0^2}e^{iKR}\,dK - \frac{1}{2i}\int_0^\infty\frac{K}{K^2+K_0^2}e^{-iKR}dK =\right.$$

$$= \frac{1}{2\pi i}\int_0^\infty\frac{K}{K^2+K_0^2}e^{iKR}\,dK + \frac{1}{2i}\int_{-\infty}^0\frac{K'}{K'^2+K_0^2}e^{iK'R}\,dK' \equiv$$

$$\equiv \frac{1}{2i}\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{K}{K^2+K_0^2}e^{iKR}\,dK \qquad (1.37)$$

căci prima integrală se referă la $K>0$ iar în a doua facem trecerea $-K=K'$ şi atunci întreg intervalul de variaţie va fi $-\infty<K<+\infty$). Vom avea de integrat

$$I = \frac{1}{4\pi^2 i}\frac{1}{R}\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{K\,e^{iKR}}{(K+iK_0)(K-iK_0)}\,dK \equiv \frac{1}{4\pi^2}\frac{1}{i}\frac{1}{R}I_0 \qquad (1.38)$$

Funcţia de sub integrală admite doi poli :

$$K + iK_0 = 0 \to K = -iK_0 ; \quad K - iK_0 = 0 \to K = +iK_0 \qquad (1.39)\ (1.40)$$

Vom efectua integrala în planul complex pe curba închisă Γ care ocoleşte polul $i\,K_0$ (fig. 1). Atunci integrala va fi

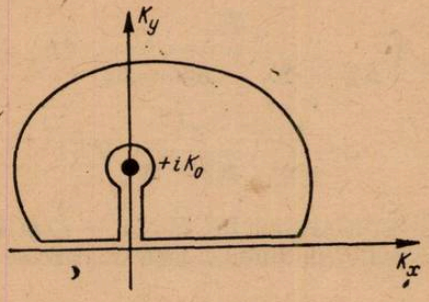


Fig. 1

$$I_0 = \int_0^{\infty} \frac{K\, e^{iKR}}{(K + iK_0)(K - iK_0)} dK = 2\pi i\, R_{es} \left[\frac{K\, e^{iKR}}{(K + iK_0)(K - iK_0)} \right] \qquad (1.41)$$

$$K = K_x + iK_y \qquad (1.42)$$

Să efectuăm reziduul corespunzător conturului Γ din figură : vom scoate din paranteză dreaptă valorile $(K - i\,K_0)$, iar funcţia restantă va fi luată potrivit valorii polului $K = +\,i\,K_0$

$$2\pi i\, Res = 2\pi i \left| \frac{K\, e^{iKR}}{K + iK_0} \right|_{K = +iK_0} = 2\pi i\, \frac{(+\,i\,K_0)\, e^{i(R(+iK_0)}}{i\,K_0 + iK_0} =$$

$$= 2\,\pi\, i \frac{(iK_0)\, e^{-iRK_0}}{(2iK_0)} = \pi\, i\, e^{-RK_0} \qquad (1.43)$$

Atunci

$$I = \frac{1}{4\pi^2 i} \frac{1}{R} \pi i e^{-RK_0} = \frac{e^{-RK_0}}{4\pi\, R} \qquad (1.44)$$

Am determinat astfel funcţia lui Green :

$$G = \frac{e^{-K_0 R}}{4\pi R} \qquad (1.45)$$

Soluţia ecuaţiei (1.19) va fi

$$\varphi(\vec{r}) = \int \rho(\vec{r'})\, G(\vec{r'}, \vec{R})\, (d\vec{r}) = \int \rho(\vec{r'}) \frac{e^{-K_0(\vec{r} - \vec{r'})}}{(r - r')} \cdot (d\vec{r'}) \qquad (1.46)$$

În cazul unei surse nucleare (generatoare de mezoni asociaţi cîmpului) punctuale şi unitare, plasate în origine

$$\rho_0 = \delta(\vec{r}) \qquad (1.47)$$

$$\varphi_{mezonic} = \frac{e^{-K_0 r}}{r} \qquad (1.48)$$

Am obținut astfel un potențial remarcabil, care generalizează pe cel coulombian

$$\varphi_{coulombian} = \frac{1}{r} \tag{1.49}$$

Se vede că diferența apare în privința termenului exponențial $e^{-K_0 r}$ caracterizat prin lungimea eficace

$$r_0 = \frac{1}{k_0} \tag{1.56}$$

$$\varphi_{mezonic} = \frac{e^{\frac{r}{r_0}}}{r} \tag{1.51}$$

Dacă $r \ll r_0$ atunci potențialul mezonic coincide pînă la aproximația de ordinul unu $\frac{r}{r_0}$ cu cel al ecuației lui Poisson

$$\varphi = \frac{1}{r}\left[1 + O\left(\frac{r}{r_0}\right)\right] \tag{1.52}$$

Se remarcă că la distanțe mari față de sursă $r \ll r_0$ potențialul φ a scădea exponențial cu distanța r : ecuația de cîmp (1.25) descrie astfel forțele cu raza mică de acțiune care se exercită practic pe distanțe care nu întrec r_0. Astfel chiar cea mai simplă variantă a teoriei mezonice (cîmp scalar, aproximație statică), conduce la următorul potențial al cîmpului mezonic scalar la distanța

$$\varphi = -g \cdot \frac{e^{-K_0 r}}{r} \tag{1.53}$$

Energia potențială la interacțiune a doi nucleoni punctuali situați respectiv în origine și în punctul r, interacțiune vehiculată prin cîmpul scalar real, este

$$V_{mezonic} = g\,\varphi = -g^2 \frac{e^{-K_0 r}}{r} \tag{1.54}$$

La distanțe mari

$$r > \frac{1}{K_0} = \frac{h}{2\pi\mu c} = \Lambda_0 \tag{1.55}$$

depășind lungimea de undă Compton, Λ_0 (a mezonilor de masă μ), care apare în relație, energia de interacțiune obținută scade rapid și devine practic nulă ($V \simeq 0$) La distanțe mici $r < \frac{1}{K_0}$ exponențiala se înlocuiește cu unu, și

$$V \simeq -\frac{g^2}{r} \tag{1.56}$$

$$r < \frac{1}{K_0} = \Lambda_0 \tag{1.57}$$

(am presupus că cei doi nucleoni au aceiaşi sarcină nucleară $g_1 = g_2$). Această energie scalară de legătură are forma energiei de interacţiune gravifică dintre două mase.

Teoria de cîmp poate fi verificată numai prin apel la experienţă. Din datele ei se pot obţine indicaţii asupra mezonilor care, după concepţia transportului interacţiunii prin particule, „duc" interacţia nucleară specifică. Energia potenţială fiind negativă forţa este întotdeauna atractivă iar la distanţa $r = \frac{1}{K_0}$ potenţialul scade de e ori. Punînd $\frac{1}{K_0}$ egal cu raza de acţiune a forţelor nucleare determinată de experienţă

$$\frac{1}{K_0} = \frac{h}{2\pi\ \mu c} = \Lambda_{0(\mu)} = 1{,}5 \cdot 10^{-13}\ \text{cm} \tag{1.58}$$

se pate face o evaluare a masei fotonilor grei a lui Yukava, care transportă cîmpul.

$$\mu = \frac{6{,}6\ 10^{-27}}{2\pi\ 1{,}5 \cdot 10^{-13}\ 3 \cdot 10^{10}} \simeq 230.10^{-17}\ \text{g} \tag{1.59}$$

Se obţine astfel o particulă cu o masă de circa 260 de ori mai mare decît cea a electronului ceea ce justifică denumirea de mezon = masă intermediară între cea a protonului şi a electronului. Aceste particule sînt neutre din punct de vedere electric iar forţele proton — netron şi neutron-proton sînt de acelaşi ordin. Procesul a fost descris printr-o analiză clasică; nu are loc un schimb cuantic de locuri între neutron şi proton (forţele sînt obişnuite nu de schimb), din acest motiv varianta scalară este preliminară. Ea nu poate explica saturaţia. Cît priveşte valoarea sarcinii g, ea poate-fi evaluată prin comparaţie cu experienţa. Pentru ca în interiorul nucleului ($r \simeq 10^{13}$ cm) să obţinem o energie de legătură de o valoare acceptabilă $V \sim 10$ MeV pe nucleon) trebuie să dăm sarcinei nucleare valoarea

$$g \sim 5\ e \tag{1.60}$$

Deşi procesul a fost descris pe o cale pur clasică el se poate generaliza şi în domeniul cuantic. Teoria cuantică a transportului interacţiunii printr-un cîmp real şi scalar (la fel ca şi în cazul cîmpurilor electrostatice sau gravitaţionale) conduce la acelaş potenţial. Mai mult decît atît, se ajunge la acelaş tip de forţe considerînd cîmpurile Bose (descrise de funcţii tensoriale reale, iar nu spinoriale). Deci particule cu spin întreg, conduc la acelaş rezultat. Problema a fost reluată prin metoda cuantificării cîmpului scalar real, după care s-au studiat imediat şi alte variante: întîi varianta unui cîmp Ψ scalar-complex care nu are o analogie clasică şi care redă un transport de mezoni încărcaţi. (Concluzia a teoriei cîmpului). Remarcăm că mecanica cuantică conduce la o aceiaşi energie de interacţiune a nucleonilor ca şi pentru cîmpurile neutre, potenţialul fiind în plus înmulţit cu un operator cuantic de schimb. Astfel rezultatul obţinut aici prin considerarea unor forţe scalare clasice este un fapt definitiv propriu funcţiilor de undă reale şi reprezintă, pînă la semn în aproximaţia nerelativistă, mărimea interacţiunii pentru un cîmp încărcat.

Reţinem deci ideea că procesul nuclear poate fi transportat prin particule cu masă de repaos nenulă, ipoteză care explică caracterul de acţiune la mică distanţă, independenţă faţă de sarcină pentru un cîmp neutru (cum şi de independenţă faţă de spin în cazul unui cîmp încărcat). Aces-

tea sînt succesele durabile ale primei variante propuse de teoria cîmpului mezonic.

Din punct de vedere cuantic, mecanismul forțelor de schimb în teoria lui Yukawa (1935) se presupune că cuantele sînt emise mereu de nucleon și apoi reabsorbite de același nucleon, sau de altul foarte apropiat; astfel el nu se poate răspîndi departe. Pentru un nucleon izolat în aceste procese nu se conservă energia impulsului, (procesele sînt virtuale, se supun relației de nedeterminare a lui Heissenberg, privind energia și timpul). În aceste procese mezonul nu poate scăpa în exterior dincolo de raza r_0 a cîmpului mezonic. Dacă în timpul Δt al existenței mezonului (zborul lui) viteza acestuia este practic egală cu cea a luminii, c, atunci distanța pînă la care poate ajunge va fi

$$r_0 \sim c \Delta t, \tag{1.61}$$

Energia nucleului este afectată de nedeterminarea

$$\Delta E \Delta t \sim \frac{h}{2\pi} \tag{1.62}$$

Această nedeterminare este condiționată de starea excitată a nucleonului emisiv, și reprezintă fizic energia proprie a mezonului (relativistă).

$$\Delta E \sim \mu c^2 \sim \frac{h}{2\pi} \frac{1}{\Delta t} \sim \frac{\hbar c}{r_0} \tag{1.63}$$

Comparînd cu masa electronică, obținem un raport de ordinul

$$\frac{\mu}{m_e} \sim \frac{\hbar}{m_e r_0 c} \tag{1.64}$$

care, după înlocuirea valorilor numerice (r_0 este raza nucleonlui), rezultă un ordin de mărime

$$\mu \approx 200 \ldots 300 \; m_e \tag{1.65}$$

Acești „fotoni grei" au fost efectiv descoperiți de experiență. Ținînd seama de independența de sarcină a forțelor nucleare, mezonul lui Yukawa trebuie să existe în trei stări de sarcină: pozitivă, negativă și neutră. Cu un an mai tîrziu, în 1936, C. Anderson și Neddermayer au descoperit în radiația cosmică particule pozitive și negative denumite mezonii μ^+, μ^-, μ^0 și avînd o masă de repaos al cărui ordin părea a fi o confirmare strălucită a teoriei lui Yukawa. Curînd, pe măsură ce s-au studiat mai bine proprietățile mezonului, au apărut însă dificultăți de interpretare, căci mezonul străbătînd straturi groase de materie interacționează slab cu nucleonii acestuia. Deci nu pot fi ei vehiculul forțelor nucleare, căci asemenea cuante de cîmp trebuie să aibă un cuplaj puternic, (să interacționeze puternic cu nucleonii). Rezolvarea acestor dificultăți s-a produs în 1947 odată cu descoperirea mezonilor π și anume în special a mezonului π^0 neutru care reprezenta cel mai bine tipul de particulă propus de Yukawa. De aceia mezonii μ nu se clasifică laolaltă cu mezonii, (în ciuda numelui): ei fac parte din categoria particulelor ușoare (leptoni) și sînt denumiți în general miuoni. Interpretarea mecanismului transmiterii forțlor nucleare s-a dovedit a fi astfel o problemă deosebit de dificilă, direct legată de problema clasificării și descrierii microparticulelor elementare. Teoria de cîmp mezodinamica clasică și cea cuantică), deși a condus la unele rezultate care se pot considera ferme, ea este departe de a fi rezolvat problema naturii forțelor nucleare.

STUDIUL EFECTULUI IZOTOPIC ÎN SPECTRUL DE ROTAȚIE AL MOLECULELOR BIATOMICE ÎN FUNCȚIE DE PARTENERUL ASOCIAT

N. BULEA — Liceul teoretic Cisnădie

1. Introducere.

Fiecare moleculă prezintă un spectru caracteristic, determinat de nucleele care o alcătuiesc și de poziția acestor nuclee în molecula dată (de distanța dintre ele).

Pînă în prezent încă nu s-a reușit să se facă o teorie completă a spectrelor moleculare, datorită nenumăratelor dificultăți ivite în interpretarea tuturor datelor experimentale. Acest lucru s-a realizat numai pentru cazul particular al spectrelor moleculelor biatomice ele fiind moleculele cele mai simple posibile.

Cînd două molecule biatomice au aceiași structură chimică (deci sînt constituite din același fel de nuclee), dar unul dintre nuclee prezintă diferiți izotopi, se obțin spectre foarte asemănătoare. Deosebirea constă în aceea că liniile spectrale omoloage sînt puțin deplasate unele față de celelalte. Această deplasare constituie tocmai efectul izotopic. Avem deci :

$$\Delta\nu = \nu - \nu^i \tag{1}$$

unde : $\Delta\nu$ reprezintă valoarea efectului izotopic,
ν reprezintă numărul de undă al unei linii spectale oarecare, a moleculei biatomice,
ν^i reprezintă numărul de undă, corespunzător liniei spectrale omoloage, a moleculei izotopice.

Lucrarea de față își propune să studieze influența partenerului asociat nucleului care prezintă izotopi, asupra efectului izotopic, în spectrul de rotație.

2. Teorie

Se cunoaște expresia care dă efectul izotopic în spectrul de rotație ca fiind :

$$\Delta\,\nu_{rot} = (1 - \rho^2)\,\nu_{rot} \tag{2}$$

$$\rho^2 = \frac{\mu}{\mu^i} \tag{3}$$

unde ρ reprezintă raportul dintre masa redusă a moleculei biatomice μ și masa redusă a moleculei izotopice μ^i și

$$\nu_{rot} = 2\,B(I + 1) \tag{4}$$

reprezintă expresia numărului de undă în spectrul de rotație.

În relația (4) $J = 0, 1, 2$, reprezintă numărul cuantic de rotație iar :

$$B = \frac{h}{8\pi^2 c\,\mu\,r^2} \tag{5}$$

reprezintă constanta de rotație a moleculei, în care : „h" reprezintă constanta lui Planck, „c" viteza luminii și „r" distanța dintre nucleele moleculei.

Avînd în vedere relațiile : (3), (4) și (5) obținem pentru expresia ce dă efectul izotopic forma :

$$\Delta \nu_{rot} = \left(1 - \frac{\mu}{\mu^i}\right) \cdot 2 \cdot \frac{h}{8\pi^2 c \mu \gamma^2} (I + 1)$$

sau mai departe înlocuind pe μ și μ^i cu expresiile corespunzătoare

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \tag{6}$$

respectiv

$$\mu^i = \frac{m_1^i \cdot m_2}{m_1^i + m_2} \tag{6'}$$

(Unde m_1 și m_1^i reprezintă masele nucleului care prezintă izotopi, iar m_2 masa nucleului asociat) se obține :

$$\Delta \nu_{rot} = \frac{C}{r^2} \cdot (I + 1) \tag{7}$$

unde prin C am notat expresia :

$$C = \left(\frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_i}\right) \cdot \frac{h}{4\pi^2 c} \tag{8}$$

care după cum se vede este o constantă caracteristică izotopilor (m_1 și m_1^i) ce apar în molecula biatomică studiată.

3. Date calculate

Pe baza constantelor moleculare care se găsesc în biblografia indicată (vezi [1] și [4]) s-au calculat valorile efectului izotopic $\Delta \nu$ pentru numerele cuantice de rotație : $I_1 = 0$; $I_2 = 1$; $I_3 = 2$; $I_4 = 5$, la moleculele izotopice : B^{11} Cl^{35} cu B^{11} Cl^{37}, Cl^{35} cu Cl^{35} Cl^{37} și J^{127} Cl^{35} cu J^{127} Cl^{37}.

Calculele s-au efectuat cu ajutorul formulelor (2) și (4), iar valorile obținute s-au înscris în tabelul de mai jos :

J	$\Delta \nu_{rot}$ (BC1)	$\Delta \nu_{tot}$ (ClCl)	$\Delta \nu_{rot}$ (JCl)
0	0,1916946	0,01313388	0,00965366
1	0,03833892	0,02626776	0,01930732
2	0,05750838	0,03940164	0,02896098
5	0,11501676	0,07880328	0,05792196

Reprezentate grafic aceste valori au dat curbele de la fig. 1.

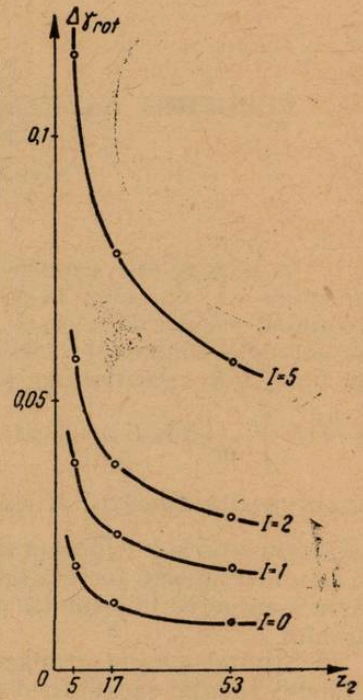


Fig. 1

4. Concluzii

Analizînd valorile calculate ale efectului izotopic şi reprezentarea lor grafică, ajungem la concluzia că efectul izotopic în spectrul de rotaţie, scade atunci cînd numărul atomic Z_2 al partenerului asociat nucleului (cu număr atomic Z_1) care prezintă izotopi, creşte.

Să arătăm acum că şi formula (7) are aceeaşi semnificaţie.

Vedem că formula arată că efectul izotopic în spectrul de rotaţie scade atunci cînd creşte distanţa dintre nuclee. Dar distanţa dintre nuclee creşte cînd creşte forţa de respingere coulombiană, iar forţa de respingere coulombiană creşte cînd creşte numărul atomic al partenerului asociat. Aşadar în cele din urmă efectul izotopic ca scădea la creşterea lui Z_2, fapt care este în deplină concordanţă cu concluzia trasă pe baza datelor calculate.

Rezultă că pentru a pune în evidenţă efectul izotopic în spectrul de rotaţie al moleculelor biatomice este recomandabil să asociem nucleului care prezintă izotopi parteneri cît mai uşori.

Efectul fiind în acest caz maxim observarea lui se va face în condiţii optime.

BIBLIOGRAFIE

1. *Gerhard Herzberg* : Molecular Spectra and Molecular Structure. I. Spectra of Diatomic Molecules (New-York 1951)
2. *S. E. Friş, A. V. Timoreva* : Curs de fizică generală III Bucureşti 1953
3. *L. D. Landau, E. M. Lifşiţ* : Mecanica cuantică Bucureşti 1965.
4. Tables de Constantes et Donnes Numeriques Nr. 4 anul 1951.
5. *M. A. Eliaşevici* : Spectroscopia atomică şi moleculară Bucureşti 1966.

CURGEREA GAZULUI PE LINIILE DREPTE DE CURENT CU APORT DE CĂLDURĂ

IOSEPH LINKOWSKI CONDÉ
MOSCOVA

În lucrare este expusă detaliat o serie de particularităţi ale curgerii şi anume : 1) curgerea se efectuează în regiunea parabolică, 2) ecuaţiile dinamicii gazelor la aceeaşi temperatură a curentului la capătul tubului posedă două soluţii, 3) fluxului i se poate comunica căldura în mod limitat (în funcţie de valoarea fixată M_1 în secţiunea iniţială a tubului) în special la $M_1 = \sqrt{\frac{1}{K}}$ fluxul nu poate percepe căldura, 4) la o încălzire maximă fluxul capătă numărul M, egal cu $\sqrt{\frac{1}{K}}$; deaceea fluxul supersonic în modelul admis de lichid ideal poate fi transferat fără salturi în starea presonoră, 5) la o introducere forţată de cădură în flux se poate produce „restructurarea" curgerii, exprimată prin modificarea numărului M_1 la începutul tubului.

Studiul acestei probleme s-a efectuat în lucrările (1—3) admiţînd modelul gazului ideal. În comunicarea de faţă vor fi elucidate probleme suplimentare.

Inițial se elucidează particularitățile hidrodinamice ale curgerii, apoi este prezentată analiza directă a ecuațiilor dinamicii razelor, care arată rezolvările lor, și care permite elucidarea completă a tuturor legităților fenomenului studiat. Una dintre concluziile care prezintă un interes pentru aerodinamica fizică este posibilitatea transformării fără salturi a fluxului supersonic în flux presonic și într-o serie de cazuri, „restructurarea" curgerii la începutul tubului, adică modificarea condițiilor inițiale pentru curgerea în tub.

În fapt, să examinăm curgerea potențială staționară plată a gazului ideal care are loc după o lege barotropă :

$$P = P(\rho) \tag{1}$$

Mișcarea ei se subordonează ecuațiilor lui Euler. Să facem abstracție de forțele masei. Atunci vom obține :

$$\frac{du}{dt} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}; \qquad \frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\rho}\frac{dp}{\partial y} \tag{2}$$

Deasemenea avem ecuația continuității

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \tag{3}$$

Dacă curgerea este potențială, atunci componentele u și v ale vitezei de curgere sînt diferite :

$$U = \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \qquad v = \frac{\partial \varphi}{\partial y}, \tag{4}$$

unde φ = potențial de viteză. S-a demonstrat în [4] că potențialul vitezei φ al curgerii staționare plate a gazului, ce se efectuează după legea arbitrară $p = p(\rho)$, satisface următoarea ecuație cvazilineară de tipul Monge-Ampere :

$$(c^2 - u^2)\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - 2u\,v\,\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x\,\partial y} + (c^2 - v^2)\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0 \tag{5}$$

unde c înseamnă :

$$c^2 = \frac{dp}{d\rho} \tag{6}$$

Direcția caracteristică în punctul dat al fluxului se determină prin ecuația :

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_{1,2} = \frac{uv}{c^2 - u^2} \pm \frac{c}{c^2 - u^2}\sqrt{w^2 - c^2}, \tag{7}$$

unde w este modulul vectorului vitezei de curgere egal cu $\sqrt{u^2 + v^2}$. Dacă $w < c$ atunci ecuația (5) este de tipul eliptic, la $w = c$ avem o ecuație de tip parabolic, iar la $w > c$ avem o ecuație de tip hiperbolic.

Să examinăm curgerea termică care se efectuează paralel cu axa X (fig. 1, a) În acest caz, ecuaţia (5) va avea forma :

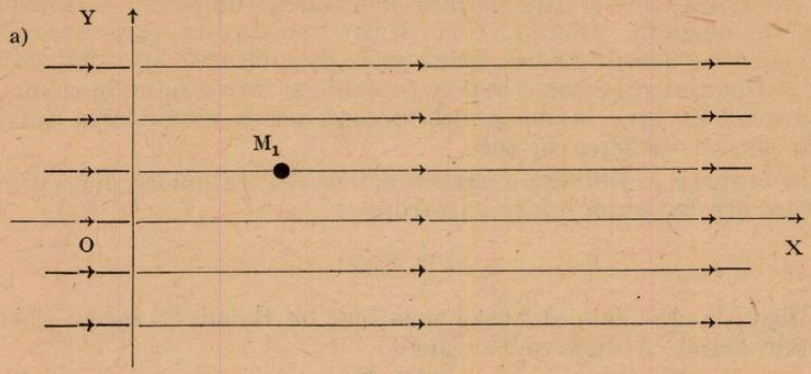


Fig. 1 a

$$(c^2 - u^2)\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = 0 \tag{8}$$

Ea poate fi satisfăcută prin prezenţa a uneia din două egalităţi :

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = 0, \quad c^2 - u^2 = 0 \tag{9}$$

În primul caz $\frac{\partial \varphi}{\partial x} = u = w = \text{const}$ şi curgerea se produce cu un vector constant al vitezei de curgere, fără aport de căldură.

În al doilea caz, avem :

$$u = \pm c \tag{10}$$

Să alegem direcţia vectorului vitezei după axa X.
Şi atunci :

$$w = \frac{\partial y}{\partial x} = \frac{d\varphi}{dx} = \left(\frac{dp}{d\rho}\right)^{0,5} \tag{11}$$

şi la această curgere există următoarea legătură între viteza curgerii w, presiunea p şi densitatea ρ :

$$\frac{dp}{d\rho} = w^2 \tag{12}$$

Liniile curentului curgerii reprezintă axe parelele, drepte X. Pentru curgerea staţionară de-a lungul fiecărei linii de curent are loc ecuaţia D. Bernulli :

$$\rho\, dp + d\left(\frac{w^2}{2}\right) = 0 \tag{13}$$

Din (12) şi (13) rezultă ecuaţia evidentă :

$$\rho\, w = \text{const} = \rho_1 W_1 \tag{14}$$

precum şi ecuaţia procesului termic în gazul curent :

$$p = p_1 - \rho_1 w_1 \left(\frac{\rho_1 w_1}{\rho} - w_1 \right) \tag{15}$$

unde p_1, ρ_1 w_1 parametrii fluxului într-un punct M_1 al său. Întrucît $w = c$, atunci această curgere are un caracter parabolic şi în fiecare punct M al fluxului există caracteristici reale. În cazul nostru $V = C$ şi de aceea conform ecuaţiei (7) direcţia caracteristicilor este nedeterminată. Pentru obţinerea preciziei în deducerea ecuaţiei (5) să alegem ca axă X tangenta la linia curentului într-un punct oarecare, iar ca axa Y normala în acest punct.

Atunci, ecuaţia (5) se poate prezenta sub forma :

$$(c^2 - w^2) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + c^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0 \tag{16}$$

Ecuaţia caracteristicilor în acest sistem de coordonate va fi :

$$\left(\frac{dy}{dx} \right)_{1,2} = \pm \frac{c}{\sqrt{w^2 - c^2}} \tag{17}$$

În curgerea termică studiată $W = C$, de aceea :

$$\left(\frac{dy}{dx} \right)_{1,2} = \pm \infty \tag{18}$$

adică caracteristicile formează un unghi drept cu liniile curentului (fig.1 b).

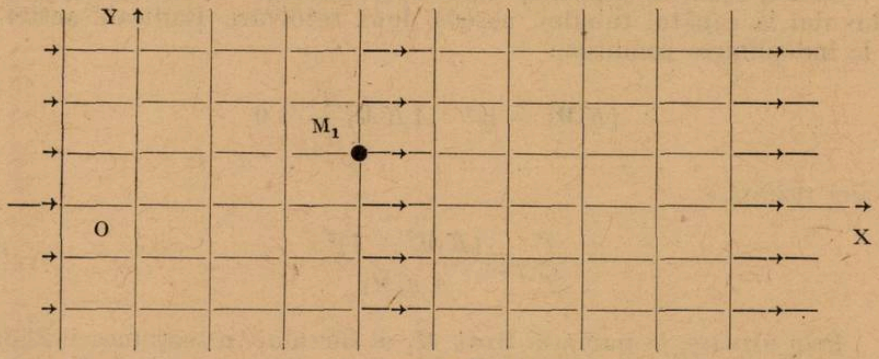


Fig. 1 b

Obţinem analogie cu curgerea adiabatică sonoră a gazului, posedînd, aceleaşi caracteristici active.

Deci, principala particularitate hidrodinamică a cugerii termice date o constituie faptul că ea se produce în întregime în regiunea parabolică. Legea modificării vitezei curgerii $W = W(x)$ poate fi oricè lege rar diferenţiată. Funcţia potenţialului vitezei curgerii φ se determină prin ecuaţia :

$$\varphi = \int_{x_1}^{x} W(x)\, dx \tag{19}$$

Dacă „consolidăm" două linii de curent aflate la distanța h, vom obține curgerea termică într-o conductă plată. Aceste concluzii, după cum ne putem ușor convinge, se extind și asupra curgerii în conducte rotunde și inelare. Să elucidăm celelalte particularități ale curgerii. Avem ecuația Klapeiron $p = g\,R\rho\,T$ atunci din (15) obținem ecuația pătratică relativă ρ/ρ_1:

$$\frac{T}{T_1}\left(\frac{\rho}{\rho_1}\right)^2 - (KM_1^2 + 1)\frac{\rho}{\rho_1} + KM_1^2 = 0 \tag{20}$$

Să examinăm un caz de încălzire a fluxului, adică $\frac{T}{T_1} > 1$. Din (20) obținem:

$$\frac{\rho}{\rho_1} = \frac{(KM_1^2 + 1) \pm \sqrt{KM_1^2 + 1)^2 - 4K\,M_1^2\frac{T}{T_1}}}{2\frac{T}{T_1}} \tag{21}$$

În acest caz, ambele rezolvări, în condiții inițiale date, sînt egale și alegerea rezolvării unice depinde de condițiile limită suplimentare pentru scurgerea șuvoiului (de pildă, de mărimea presiunii mediului imobil, în care poate să se scurgă în special șuvoiul). Constatăm că rezolvările cu 2 semne ale ecuațiilor de gaze se întîlnesc și în alte probleme, în care alegerea unei rezolvări depinde de condițiile limită date.

Astfel, ecuațiile dinamicii gazelor, la aceleași valori de temperatură a fluxului la capătul tubului, posedă două rezolvări. Radicalii activi au loc la îndeplinirea condiției:

$$(KM_1^2 + 1)^2 - 4\,KM_1^2\frac{T}{T_1} \geqslant 0$$

de aici rezultă:

$$\frac{T}{T_1} \leqslant \frac{(KM_1^2 + 1)^2}{4\,KM_1^2} \tag{22}$$

Prin urmare, la numărul fixat M_1 al fluxului în secțiunea inițială a tubului, fluxul poate fi încălzit pînă la temperatura maximă T_{max} egală cu:

$$T_{max} = T_1\frac{(KM_1^2 + 1)^2}{4\,KM_1^2} = T_1\left(\frac{\sqrt{K}}{2}M_1 + \frac{1}{2\sqrt{K}\,M_1}\right)^2 \tag{23}$$

L.A. Vulis a demonstrat aceasta cu o altă metodă. Pentru M_1 mari și mici avem (aproximativ) în mod corespunzător:

$$T_{max} \approx T_1\frac{K}{4}M_1^2 \text{ și } T_{max} \approx \frac{T_1}{4KM_1^2}$$

La încălzirea maximă, modificarea relativă a densității este egală cu :

$$\frac{\rho}{\rho_1} = \frac{2KM_1^2}{KM_1^2 + 1} \tag{24}$$

la cele mari

$$M_1 = \frac{\rho}{\rho_1} \simeq 2$$

Să verificăm veracitatea inegalității $\frac{2KM_1^2}{KM_1^2 + 1} < 1$

De aici rezultă $KM_1^2 > 1$, adică trebuie să fie $M_1 > \sqrt{\frac{1}{K}}$. Pentru aer ($K = 1{,}41$) va fi : $M_1 > 0{,}843$ Astfel, dacă $M_1 > \sqrt{\frac{1}{K}}$ atunci se produce creșterea densității fluxului și deci scăderea vitezei de curgere și creșterea presiunii, iar la $M_1 < \sqrt{\frac{1}{K}}$ invers. La $M_1 = \sqrt{\frac{1}{K}}$ după cum se va demonstra mai jos, fluxul nu poate însuși căldura păstrînd numărul fixat $M_1 = \sqrt{\frac{1}{K}}$ în secțiunea inițială a tubului. Să elucidăm modificarea numărului M a fluxului. Sînt date :

$$\frac{M}{M_1} = \frac{W}{W_1}\sqrt{\frac{T_1}{T}} = \left(\frac{\rho}{\rho_1}\sqrt{\frac{T}{T_1}}\right)^{-1}$$

și la încălzire maximă obținem :

$$M = \sqrt{\frac{1}{K}}, \tag{25}$$

adică starea fluxului va fi presonică. Prin analogie se poate forma ecuația pătrată relativ la $\frac{p}{p_1}$:

$$\left(\frac{p}{p_1}\right)^2 - (1 + KM_1^2)\frac{p}{p_1} + KM_1^2\frac{T}{T_1} = 0$$

din care :

$$\frac{p}{p_1} = \frac{1}{2}(1 + KM_1^2) \mp \frac{1}{2}\sqrt{(1 + KM_1^2)^2 - 4KM_1^2\frac{T}{T_1}} \tag{26}$$

De aceea, la încălzire maximă, obținem :

$$\frac{p}{p_1} = 0{,}5\,(1 + KM_1^2) \tag{27}$$

adică $\frac{p}{p} > 0{,}5$. Să examinăm separat cazul atunci din (21) şi (26) obţinem :

$$\frac{\rho}{\rho_1} = \left(\frac{T}{T_1}\right)^{-1}\left(1 + \sqrt{1 - \frac{T}{T_1}}\right), \frac{p}{p_1} = 1 \pm \sqrt{1 - \frac{T}{T_1}}, \tag{28}$$

adică, fluxul cu numărul $M_1 = \sqrt{\frac{1}{K}}$
nu poate recepţiona căldura.

Din cele spuse rezultă că, la încălzire maximă, în fluxul presonic avînd iniţial numărul $M_1 < \sqrt{\frac{1}{K}}$ numărul M creşte pînă la $\sqrt{\frac{1}{K}}$ şi invers, la $M_1 > \sqrt{\frac{1}{K}}$ se produce o diminuare a acestui număr pînă la $\sqrt{\frac{1}{K}}$. Prin urmare, fluxul supersonic poate fi transformat fără salturi în stare presonică, cel puţin, pînă la numărul $M = \sqrt{\frac{1}{K}}$. Fluxul avînd ca număr iniţial $M_1 = \sqrt{\frac{1}{K}}$ nu poate recepţiona căldura, păstrînd starea sa iniţială. O astfel de stare a fluxului o vom denumi specială.

Să însemnăm cu q, cantitatea de căldură pentru 1 kg gaz, $U = C_v T$

A — echivalentul mecanic al căldurii,

g — acceleraţia gravităţii. Pentru o unitate de lungime a liniei de curent după primul element de termodinamică, pentru un flux de lichid [5] este necesar să se imprime căldură pe secundă (în curgerea staţionară) :

$$\frac{dq}{de} = \frac{dU}{dl} + \frac{A}{g} p \frac{d\rho^{-1}}{dl} \tag{29}$$

unde dl = element al lungimii liniei de curent. Aceasta reprezintă ecuaţia diferenţială a aportului de căldură de-a lungul liniei de curent. Dacă într-o secţiune oarecare a tubului cu suprafaţă octogonală, pe axul lui parametrii vor fi p_1, ρ_1 W_1, T_1 iar în altă secţiune în mod corespunzător p, ρ, W şi T atunci între aceste secţiuni, trebuie adusă căldură pe sec. :

$$Q_s = \rho_1 W_1 f \left[C_v (T - T_1) + \frac{A}{2 g \rho_1^2 w_1^2} (p_1^2 - p^2)\right] \tag{30}$$

Astfel, pentru ridicarea temperaturii fluxului în tub cu secţiune constantă cu numărul fixat M_1 al fluxului în secţiunea iniţială a tubului există posibilităţi limitate.

Trebuie să subliniem că de aici rezultă că dacă în fluxul de aer din tub se introduce în mod forţat căldura, de pildă, prin arderea de combustibil la $M_1 = 0{,}843$ atunci la *capătul tubului se produce restructurarea fluxului* şi anume, se modifică numărul M_1 în funcţie cu cantitatea de căldură admisă şi condiţiile limită de pătrundere şi ieşire a şuvoiului. Pe lîngă

aceasta, nu întotdeauna se produce arderea deplină a combustibilului. „Restructurarea " condițiilor inițiale ale fluxului poate avea loc și la alte numere M_1 dacă în flux se introduce căldură peste cantitatea maximă. Această restructurare a fluxului și posibilitatea arderii necomplete nu este studiată în lucrarea de față.

BIBLIOGRAFIE

1. *Г. Н Абрамович*, О мепловом кризисе в газовом, *ДАНСССР* ¡Т54, 1946, №7 стр 579–581
2. *Г. Н Абрамович*, Прикладная газовая динамика, ГНТТЛ, Москва, 1951 стр. 140–148
3. *Л А Вулук*, Термодинамика газовкх помоков. *ГЭИ, Москва 1950*,
4. *Р, Эауэр*, Вбеденуе в газояую, Огиз- Гостехизеам, Москва, 1947-
5. *В. С. Жуковский*, Техническая термодинамика, ОНТУ, М–Л–1931

CONSIDERAȚIUNI METODICE ÎN PREDAREA TEMEI REFERITOARE LA ELECTROLIZA

Prof. A, BEJENARU — Cîmpulung Moldovenesc

Scopul general care mi l-am propus în predarea acestei teme și a cărei realizare am urmărit-o de-a lungul lecțiilor, a fost : „organizarea activității cognitive a elevilor în vederea înțelegerii și însușirii mecanisme lui electrolizei și a fenomenelor însoțitoare, paralel cu dezvoltarea gîndiri logice, satisfacerea intereselor de cunoaștere științifică și formarea convingerilor despre importanța practică a aplicării acestui fenomen în producția industriei chimice și protecția metalelor și agregatelor industriale..

Urmărind să înarmez elevii cu cunoștințe și deprinderi legate de realizările științei și tehnicii, de realitatea construcției socialismului în patria noastră, am folosit în predare, metode și procedee adecvate acestui scop.

A. Metode folosite în predarea electrolizei și a fenomenelor care o însoțesc

a). *Predarea problematică.*

În predarea chimiei la clasa X-a și mă refer aici în mod deosebit la predarea fenomenului de electroliză destul de dificil pentru elevi, am ales din varietatea metodelor oferite de acest obiect, asemenea mijloace care să contribuie la organizarea acțiunilor mintale în vederea unei însușiri active, conștiente de către elevi.

Am considerat necesar ca elevii să fie permanent stimulați prin întrebări, să li se dea sarcini cognitive mai complicate, pentru a cunoaște

noul prin eforturi proprii, să fie puşi în situaţia de a utiliza cunoştinţele în explicarea fenomenului respectiv şi a altora.

Utilizarea metodei problemelor, crearea unui *cadru problematic* în predarea chimiei, contribuie la dezvoltarea intelectului la elevi şi a intereselor de cunoaştere a fenomenelor chimice din natură în toată complexitatea lor.

„Nu trebnie uitat că problema crează în activitatea nervoasă a elevilor o dominantă care în anumite condiţii dobîndeşte o mare însemnătate pedagogică, întrucît tonifică, orientează ferm către un scop şi permite organizarea activităţii elevului la nivel superior" [2]).

Îmbinînd această metodă cu demonstraţia, folosind materialul intuitiv : aparate, metodele structurale, planşe şi tabla pentru a reda schemele instalaţiilor din laborator şi a celor industriale, ecuaţiile reacţiilor etc., am predat elevilor mai multe lecţii :

— Conductibilitatea electrică a electroliţilor ; electroliţi şi neelectroliţi ;

— Teoria disociaţiei electrolitice ; hidratarea ionilor ;

— Factorii care influenţează gradul de disociere ;

— Mecanismul electrolizei ; electroliza fenomen redox ;

—Electroliza soluţiilor şi a electroliţilor topiţi ; reacţii secundare.

Mă voi opri în continuare la una din lecţiile amintite.

Lecţia „Mecanismul electrolizei, electroliza fenomen redox" am predat-o făcînd o serie de reveniri la cunoştinţele anterioare.

Din conţinutul teoriei lui Arrhenius, elevii au desprins că ionii se găsesc în soluţie independent de curentul electric. Au studiat de asemenea, disociaţia la acizi, baze şi săruri cu scopul de a cunoaşte felul ionilor trimişi în soluţie de aceşti electroliţi.

Se pune în faţa elevilor următoarea întrebare : *Ce se întîmplă cu onii la trecerea curentului electric printr-un electrolit?* Elevii sînt puşi să gîndească. Se crează astfel momentul aşteptării. (unii găsesc răspunsul dar numai pentru sine).

Între timp am comunicat elevilor titlul lecţiei noi şi am schiţat pe tablă un vas în care am considerat o soluţie de $CuCl_2$ disociată în ioni de cupru şi clor (ionii se reprezintă pe tablă cu cretă colorată). Atenţia lor este din nou solicitată printr-o altă întrebare : dar dacă în vasul respectiv, (imaginar) am introduce doi electrozi, pe care i-am lega la polii unei surse de curent electric (şi completăm treptat desenul electrodul legat de polul pozitiv ce sarcină va primi, dar celălalt legat la polul negativ?

Elevii răspund la aceste ultime întrebări, stabilind împreună, că electrodul negativ se numeşte *catod*, iar cel pozitiv-*anod*.

Prin aceste ultime intervenţii, demonstrînd cu ajutorul tablei, elevii ajung la concluzia (fără a avea convingerea verificării în practică) că ionii din soluţie, la trecerea curentului electric, se vor deplasa ordonat către electrozii de semn contrar, conform legii coulombiene.

Intervenind, îi solicit pe ei să puie întrebarea care în mod firesc urmează a fi pusă : Ce se întîmplă cu ionii la cei doi electrozi? Drep

răspuns la această întrebare se montează aparatul pentru electroliza clorurii de cupru în soluție. Electrozii de cărbune se leagă la un redresor de curent. Ca efect al trecerii curentului electric, elevii observă că la un electrod se degazează un gaz galben — verzui, iar la celălalt electrod se depune un metal de culoare roșietică. Se precizează că la anod gazul degajat este clorul, iar pe catod se depune cuprul.

Elevii ajung astfel la convingerea că la electrozi ionii se transformă în atomi neutri cedînd surplusul sau acceptînd necesarul de electroni. Sînt puși apoi să definească electroliza.

Pentru fixarea celor demonstrate se face pe tablă schema mecanismului de electroliză cu cretă colorată însoțită de o serie de precizări.

Electroliza ca fenomen redox este explicată cu participarea clasei revenindu-se asupra cunoștințelor din anii anteriori privind fenomenele de oxidare și reducere. Se interpretează acest fenomen din punct de vedere electrochimic și se reprezintă pe tablă următoarea schemă :

electroliza → fen. redox. ⟨ oxidare (cedare) → la anod → anionii (—) *atomi*
reducere (acceptare) → la catod → cationii (+) *neutri*

Se indică elevilor pentru reprezentarea electrolizei unui electrolit, folosirea schemei de mai jos :

$$Cu\,Cl_2 \longrightarrow Cu^{2+} + 2Cl^-$$

Precizînd că la trecerea curentului electric prin electrolit au loc la electrozi o serie de transformări — se continuă schema :

$$\begin{array}{c|l} K & Cu^{2+} + 2\,e \rightarrow Cu \downarrow \\ \hline A & 2\,Cl^- - 2\,e \rightarrow 2\,Cl \mid 2\,Cl \rightarrow Cl_2 \end{array}$$

Elevii sînt obligați să folosească terminologia strict corespunzătore în redarea acestui fenomen și denumirea adecvată pentru cationi și anioni.

La sfîrșitul orei pe baza cunoștințelor căpătate în oră cît și a celor anterioare, elevii sînt puși să rezolve frontal o problemă din culegere.

Folosinid această metodă — frecvent, în predarea noilor cunoștințe am contribut cred, la activizarea gîndirii elevilor, dezvoltarea spiritului de observație, sesizarea legăturilor cauzale dintre fenomene și formularea în cele din urmă a unor concluzii juste logice și cuprinzătoare.

b) *Activitatea frontală*

Fiind preocupată în permanență de formarea la elevi a dep derilor practice de a executa experiențe ,de a mînui reactivii și aparatura simplă existentă în laborator, de a asigura activizarea tuturor elevilor în timpul

predării, am desfășurat cu elevii ore de transmitere a cunoștințelor în laborator folosind metoda frontală. Am folosit această metodă îmbinată cu altele amintite, în predarea lecțiilor:

— Disociația electrolitică la soluțiile de acizi, baze și săruri, proprietățile ionilor.

— Reacțiile dintre electroliți (ionice).

— Fenomenul de hidroliză la săruri.

Redau pe scurt modul cum s-a discutat disociația la soluțiile de acizi, baze și săruri.

La acizi reamintind structura polară a moleculei și mecanismul dizolvării lor în apă:

$$HCl + H_2O \rightarrow H_3O + {}_{+}Cl^{-} \text{ sau}$$
$$HNO_3 + H_2O \rightarrow H_3O + NO_3$$

Elevii au sesizat (din punct de vedere teoretic), că acizii prin disociere trimit în soluție ionii de hidroniu (protonul de hidrogen înconjurat de un dipol al apei).

Pe baza cunoștințelor anterioare despre proprietățile comune ale acizilor, elevii au trecut la verificarea frontală a acestora, pe grupe.

Am explicat în continuare disocierea în trepte a acizilor polibazici care are drept consecință formarea sărurilor acide.

S-au dat exemple și elevii lucrînd la tablă au folosit cunoștințele lor despre acizi din clasele a VIII și a IX-a.

$H_3PO_4 \rightarrow H^+ + H_2PO_4^- \rightarrow Na\,H_2PO_4$ fosfat primar de sodiu (biacid desodiu)

$H_2PO_4^- \rightarrow H^+ + HPO_4^{2-} \rightarrow Na_2\,HPO_4$ fosfat secundar de sodiu (monoacid de sodiu)

$HPO_4^{2-} \rightarrow H^+ + PO_4^{3-} \rightarrow Na_3PO_4$ fosfat terțiar de sodiu (neutru)

Ca temă s-a dat elevilor să scrie și să denumească foăsfații unui metal bi și trivalent.

La fel s-a procedat pentru disocierea bazelor. Aici însă elevii au verificat prin experiențe, caracterul dublu al unor hidroxizi (amfoteri): $Al(OH)_3$, $Zn(OH)_2$

Același scop amintit mai sus, l-am urmărit și cu ocazia experiențelor executate de elevi în cadrul lucrărilor de laborator.

c) *Metoda de laborator.*

Terminînd de predat această temă, am desfășurat o oră de lucrări de laborator cu scopul de a fixa și consolida cunoștințele primite, cît și de a forma la elevi deprinderi de muncă independentă.

Înainte de a începe propriu-zis ora, am comunicat elevilor titlul lucrării și le-am dat o serie de indicații privitoare la modul de desfășurare a experiențelor, la securitatea care trebuie păstrată în mînuirea reactivilor, economisirea acestora precum și la tehnica executării experiențelor?

Întrucît aceasta a fost o oră de recapitulare prin intermediul experienţelor de laborator, paralel cu evidenţierea celor mai importante fenomene, elevii au executat experienţele indicate pe tablă.

Dau mai jos o parte din întrebările care au condus firul logic al conversaţiei şi pe baza cărora elevii au executat experienţele care vor fi ndicate ulterior.

— Cum se realizează formarea moleculelor
— Care sînt legăturile chimice mai des întîlnite?
— Prin ce se caracterizează legătura metalică?
— Ce proprietăţi imprimă metalului, norul electronic din reţea?
— Ce fel de conductori sînt deci metalele?
— Dar legătura ionică cum se realizează ; la ce substanţe o întîlnim?
— Cum se mai numesc conductorii de ordinul II?
— Ce fenomene deosebite întîlnim la electroliţi care explică proprietatea lor de a fi conductori?
— Ce este disociaţia electrolitică? etc.

Pe tablă am scris planul de execuţie al experienţelor şi odată cu aceasta şi formulele substanţelor cu care elevii urmau să lucreze. Completarea planului s-a făcut treptat, paralel cu discuţiile, iar ecuaţiile reacţiilor au fost completate de elevi după executarea experienţelor.

Planul lucrării a fost următorul :

1. *Fenomenul de disociaţie la electroliţi.*

a/ Tăria acizilor.
— $CH_3-COOH+Zn\rightarrow$
— $CH_3-COOH+Zn\rightarrow$
— $HCl+Zn\rightarrow$

b/ Caracterul amfoter al Zn (OH) 2

— $ZnSO_4 + NaOH\rightarrow$
— $Zn\ (OH)_2 + HCL\rightarrow$
— $Zn(OH)_2 + NaOH\rightarrow$

c/ Culoarea soluţiilor de electroliţi

— determinată de cationii cuprici şi ferici
— determinată de anionii permanganici şi bicromici.

2. *Interacţiunea dintre electroliţi.*

a/ Reacţii reversibile
b/ Reacţii ireversibile
Elevii precizează după rezultat fiecare tip de reacţie.

3. *Fenomenul de hidroliză*

4. *Fenomenul de electroliză.*

a/ Deplasarea ionilor prin electrolit (demonstrație)

Interpretarea experiențelor executate a fost făcută de elevi oral urmînd să completeze explicațiile în referat. Elevii alcătuiesc referatul pe baza experiențelor executate de întreaga grupă, după rubricațiile indicate:

— ce experiențe au executat;

— cum am procedat;

— observații; explicarea celor observate.

Am folosit aceste rubricații, deoarece impun elevilor să redea precis și pe scurt sistemul de lucru și observațiile făcute.

Toate aceste căi indicate de metodică și folosite în predare se încadrează în unul din cele mai importante principii ale învățămîntului (în cazul obiectului chimie) — principiul intuiției — a cărui însemnătate se desprinde din însăși aprecierile fondatorului didacticii I.A. Komensky: „Totul în măsura posibilităților, trebuie oferit simțurilor și anume, tot ce este vizual — vederii, tot ce este de auzit-auzului, tot ce este de mirosit — mirosului, tot ce se mînîncă — gustului, tot ce se pipăie — pipăitului, iar dacă este ceva care se poate percepe cu mai multe simțuri atunci trebuie să-l oferim simultan mai multor simțuri". „Percepția devine mult mai puternică dacă la această percepție iau parte mai multe organe de simț"[2]).

Reiese că intuiția cuprinde cerința îmbinării juste a explicației educatorului cu mijloace intuitive utilizate la lecții.

Ea asigură o bază vie de percepere pentru însușirea cunoștințelor, ușurînd procesul de formare în conștiința elevilor a reprezentărilor și noțiunilor.

d) *Exercițiile și problemele* le-am folosit ca sprijin în întreaga activitate, pentru consolidarea cunoștințelor teoretice și practice transmise elevilor, pentru formarea deprinderilor de calcul și dezvoltarea gîndirii logice la elevi. În acest scop am folosit pentru rezolvarea problemelor, planul etapic al matematicianului Polya și am executat planșe cu tipologia problemelor de chimie și cu etapele de rezolvare a unei probleme.

Experiențele de laborator au fost continuate cu exerciții și probleme care au servit la aprofundarea cunoștințelor căpătate, la dezvoltarea deprinderilor de muncă independentă în vederea stimulării capacității de gîndire logică a elevilor.

În cadrul acestei ore, cu ajutorul exercițiilor și problemelor precum și experiențelor executate, am reușit să realizez controlul privind însușirea cunoștințelor teoretice cît și nivelul de formare a deprinderilor pentru munca independentă prin experiențe și calcule.

Trecînd problemele prin cele patru etape în mod interpretativ începînd cu enunțul problemei și pînă la obținerea rezultatelor cerute de problemă, consider că am contribuit la dezvoltarea gîndirii logice a elevilor exprimată în continua căutare pe tot timpul rezolvării, lucru ce constitie de fapt exercițiul gîndirii.

Făcînd unele reveniri referitoare la soluţii molare, normale, la volumul molar, am trecut apoi la rezolvarea unor probleme de diferite tipuri şi anume : o problemă referitoare la gradul de disociere, una referitoare la electroliză şi 2 probleme de aplicare a legilor electrolizei.

Prezint în continuare modul de rezolvare a uneia dintre probleme.

În urma electrolizei a 800 kg soluţie de NaCl cu concentraţia de 30% se obţin mai multe produse. Să se determine :

1) Cantitatea de substanţă alcalină obţinută la catod ;

2) volumul gazului degajat la anod ;

3) volumul soluţiei semimolare de $CuSO_4$ care reacţionează cu hidroxidul format.

Pe tablă problemă şi rezolvarea ei au fost redate pe trei coloane :

Datele problemei :	*Ecuaţiile fracţiilor*	*calcule*
M. sol. NaCl = 800 kg 30%	$NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$	a) $\frac{800.30}{100}$ ×
$MNaOH = x_1$	$H_2O \rightleftharpoons H^+ + HO^-$	$x = \frac{100.30}{800} = 375$ g.
$VCl_2 = y$	$\frac{K}{A}\left\|\begin{matrix}H^+ + e \rightarrow H \\ Cl^+ - e \rightarrow Cl\end{matrix}\right\|\begin{matrix}H + H \rightarrow H_2 \\ Cl + Cl \rightarrow Cl_2\end{matrix}$	sau 3,75 hgr.
$Vsol.\ CuSO_4 + \frac{M}{2} = Z$	sau totalizat se poate scrie :	58,5 g NaCl. 40 g NaO_4
	$2\ NaCl + 2H_2C = Cl_2 + H_2 + 2NaOH$	375 g ... x_1
	$2\ NaOH + Cu\ SO_4 = Cu(OH_2) + Na_2SO_4$	$x_1 = \frac{375.40}{58,5}$ şi calculele continuă.

Analizînd enunţul elevul de la tablă precizează fenomenele chimice la care se referă problema, fiind antrenaţi şi alţi elevi :

— concentraţia procentuală şi molară a soluţiilor ;

— electroliza soluţiilor de electroliţi (reacţii secundare) ;

— reacţii ionice ireversibile.

S-au dezbătut aceste probleme din punct de vedere teoretic şi apoi s-a trecut la efectuarea electrolizei soluţiei de NaCl (în care se adaugă fenolftaleină), folosind electrolizorul cunoscut. Elevul care a executat experienţa, a identificat formarea la catod a substanţei alcaline (NaOH) cu ajutorul fenolftaleine.

Un alt elev a executat cealaltă experienţă tratînd o soluţie de $CuSO_4$ cu hidroxid de sodiu. Obţinînd un precipitat albastru, elevul stabileşte că această reacţie întrucît se petrece pînă la capăt, este ireversibilă. Acelaşi elev a continuat calculele trecînd problema prin toate etapele de rezolvare.

Ora s-a încheiat cu aprecierile care le-am făcutcu privire la nivelul de cunoaştere teoretică a celor studiate şi aprofundarea acestor cunoştinţe prin calcule şi experienţe.

Terminînd de studiat electroliza am prezentat pe scurt elevilor însemnătatea proceselor electrochimice pentru industrie arătînd că în lecţiile ce urmează pînă la sfîrşitul anului, vor întîlni o serie de aplicaţii importante ale electrolizei ca de exemplu :

— coroziunea electrochimică şi metodele de combatere ;

— electrometalurgia sodiului şi aluminiului, rafinarea cuprului ;

— produşii cloro-sodici.

e) *Predarea corelativă.* Considerînd predarea corelativă ca o necesitate de însuşire temeinică şi unitară a cunoştinţelor de către elevi, am por-

nit în transmiterea noilor noțiuni, la clasa X-a de la date și fapte cunoscute din clasele anterioare (a VII-a și a VIII-a).

Astfel în clasa X-a după ce elevii studiază legăturile chimice (primul capitol din manual), încep capitolul despre soluții și electroliți care se impune a fi predat în interdependență cu capitolul II din manualul din clasa a VII-a intitulat — apa și soluțiile. Din studiul acestui capitol, în clasa VII-a elevii și-au însușit o serie de cunoștințe despre apă, răspîndirea ei în natură, proprietățile ei, metodele de purificarea apei precum și termenii de dizolvant, dizolvare, solubilitate, soluții saturate și nesaturate, concentrația soluțiilor etc.

Reamintim elevilor aceste probleme care le-au reținut cu ușurință (fapt constatat), am explicat mecanismul dizolvării însoțită de efectele termice și exprimarea concentrației procentuale, molare și normale prin efectuarea unor probleme și exerciții aplicative.

Predînd electroliza apei și explicînd mecanismul acestui fenomen am avut în vedere faptul că elevii de clasa X-a, cunosc unele aspecte încă din clasa VII, cînd au căpătat noțiunea de electroliză a apei și au verificat componentele ei.

Am folosit aici pentru demonstrație un voltametru simplu confecționat cu mijloace proprii în atelierul școlii.

Tot în clasa VII cît și în clasa a VIII-a, elevii au studiat clorura de sodiu, hidroxidul de sodiu, clorul (noțiuni sumare), în general despre industria produselor cloro-sodice. Cunoscînd prevederile programei și manualului și de data aceasta ăm folosit elevii pentru prezentarea acestor substanțe, făcînd apoi completările impuse de nivelul programei de clasa X-a.

Respectînd cerințele corelării pe orizontală între fizică și chimie, este necesar ca profesorii de fizică să aibă în vedere în predarea electrolizei la clasa a XI-a (școala de 12 ani), faptul că elevii cunosc o serie de probleme legate de acest fenomen încă din clasa X-a, din studiul Chimiei

f) *Formarea unui limbaj chimic adecvat și a deprinderilor de scriere corectă.*

În predarea chimiei la clasa X-a, paralel cu transmiterea unui volum de cunoștințe științifice, sistematice, am urmărit formarea unui limbaj chimic propriu obiectului chimie.

Fiind convinsă, pe baza muncii cu elevii că interpretarea ireală, confuză, a sensului unor termeni științifici, fac dificilă înțelegerea frazelor cu conținut științific, m-am străduit să explic în lecție cît mai clar posibil, termenii noi întîlniți folosind chiar explicația etimologică.

Așa am procedat pentru evitarea confuziilor care se creează la elevi cu privire la unele fenomene studiate;

— disociație și electroliză;
— disociație și ionizare;
— hidroliză și hidratare;
— pol și electrod etc.

Explicînd conținutul noțiunilor de *electroliză* și *hidroliză* am pornit de la originea acestor cuvinte din limba greacă și anume :

— *electroliză* — *electro* — prescurtarea cuvîntului electricitate iar *lysis*-descompunere.

— *hidroliză* — *hidros* — apă și — *lysis* — descompunere.

În predare am uzitat consecvent termenul de disociație și nu ionizare, argumentînd elevilor că în deosebi la săruri (electroliți tari) deși o stare solidă și în soluție *ionizarea este completă*, datorită forțelor de atracție electrostatice dintre ioni, *disociația este parțială*. Deci la săruri disociația nu este identică cu ionizarea.

Am stabilit de asemeni, că „*po*" și „*electrozii*" nu sînt noțiuni identice și ca atare nu trebuie substituite nici din neatenție, nici din alte motive, chiar dacă în manual se mai strecoară ici, colo, această confuzie.

În același sens am obișnuit elevii să folosească o anumită terminologie pentru denumirea ionilor pozitivi și negativi în cazul disociației și a fenomenului de electroliză. Exemplele care urmează ilustrează acest lucru

Cationi :	*Anioni* :
H_3O cationul de hidroniu	HO anionul hidroxilic
Na cationul sodic	SO^2_4 anionul sulfuric
K cationul potasic	PO_4 anionul fosforic
Al^3 cationul aluminic	Cl anionul cloric etc.

Am înlocuit astfel o pronunțare supărătoare și necorespunzătoare a acestor ioni ca de exemplu : ionul negativ de clor, ionul de radical acid, ionul de hidroxil negativ etc. cu una strict științifică.

Se observă aici că anionul hidroxilic l-am reprezentat *HO* și nu *OH* cum este dat peste tot în manual, aceasta deoarece am considerat mai direct din punct de vedere științific ținînd cont de valența negativă (2) a oxigenului.

B. *Propuneri pentru viitor.*

În vederea îmbunătățirii sistemului de predare a acestei teme ia care o apreciez ca centrală în studiul chimiei anorganice la clasa X-a, se propun ca începînd cu anul școlar 1967—1968, cu aprobarea conducerii liceului și a D.I.M. să experimentez la două clase — restul fiind clase de control, — predarea pe baza sistemului de lecții.

Către această situație m-a condus în primul rînd logica obiectului, iar în al doilea rînd problemele de ordin didactic.

Sub aspect metodic consider că acest capitol se pretează a se pregăti și preda pe baza sistemului de lecții. Aceasta presupune însă o restructurare a tuturor capitolelor din manual pentru a fi posibilă predarea aplicațiilor electrolizei ca o urmare firească a fenomenului studiat (mă refer aici la aplicațiile care sînt prevăzute în manual după capitolul — metale generalități —).

Pe baza planului care l-am alcătuit deja, voi experimenta în acest an școlar, obligîndu-mă să trimit redacției ulterior rezultatele obținute însoțite de observații.

BIBLIOGRAFIE

[1] *I. A. Atanasiu* : Manual de electrochimie generală. Editura didactică şi pedagogică Bucureşti 1963.

[2] *Nenițescu* : Chimie generală. Editura tehnică. Bucureşti 1963.

[3] *Banto Magdalena* şi *colaboratorii* : Studii de didactică şi psihologia învățării. Editura didactică şi pedagogică.

[4] *Dr. Grigore Bălănescu* : Dicţionar de chimie. Edit. tehnică Bucureşti 1964.

[5] *G. Goian* : Însuşirea terminologiei ştiinţelifice. Editura de stat didactică şi pedagogică. Bucureşti, 1961.

[6] *Parteni Elena* şi *colaboratorii*. Experienţe de chimie pentru licee. Editura didactică şi pedagogică. Bucureşti, 1965.

[7] *D. Ungureanu* şi *V. Liciu* : I.P.C.D. Iaşi, Introducerea rezolvării problemelor, mijloc important de modernizare a chimiei. Revista de fizică şi chimie seria A. vol. III. nr. 10 octombrie 1966.

[8] *B. Medianu* : Braşov. Aspecte ale metodicii transmiterii noilor cunoştinţe la predarea chimiei. Revista fizică şi chimie seria A Vol. II. nr. 4. 1965.

[9] *I. A. Komensky* : Texte alese. Edit. de stat didactică şi pedagogică, 1958.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

Bib. O.

I. P. I. — c. 5388

43 459

Lei 3

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista
DE
FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL V

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

7

IULIE 1968

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR, 23, SECTOR 7 BUCUREȘTI - 45, TELEFON 16.42.86

SUMAR

N. Calinicenco

Profesorul Constantin Mihul la vîrsta de 70 ani. 241

Magda Petrovanu

Pagini din istoria învățămîntului științific și tehnic pe meleagurile moldovene (sec. XV — XVIII). 243

Virgil Olariu

Axoidele sistemelor rigide 248

Colectivul catedrei de fizică

Organizarea și îndrumarea lucrărilor practice în cadrul laboratoarelor de fizică din Institutul Pedagogic de 3 ani Constanța. 255

Cornelia Gheorghiu .

Organizarea și dotarea laboratoarelor de fizică și chimie ale Liceului 42 Buc. 264

A. Matei și C. Rusu

Determinarea mărimilor termoelectrice la metale 269

C. Codreanu, T. Vodă, O. Pop

Metoda de control expres în activitatea de laborator. 274

Vodă Teodor, Cosma Margareta.

Unele aspecte privind modul de organizare și desfășurare a lucrărilor practice de fizică la liceu. 277

COMITETUL DE REDACȚIE

Ion Agîrbiceanu, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Teodor Bohățiel**, asist. univ. — redactor; **Simion Bulgarea**, prof. **Maria Codreanu**, prof. **Nicolae Martalogu**, conf. univ.; **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C. Moisil**, conf. univ.; **Alice Negoescu**, prof.; **Ion C. Petrea**, conf. univ.; **Victor Sahini**, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România). Redactor responsabil: **Constantin D. Albu**, lector univ.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A

volumul V, nr. 7 iulie, 1968

PROFESORUL CONSTANTIN MIHUL LA VÎRSTA DE 70 ANI

La 18. XII. 1967 prof. dr. docent *Constantin Mihul*, de la Facultatea de fizică a Universităţii „Al. I. Cuza" din Iaşi, a împlinit vîrsta de 70 de ani. La această Universitate prof. *Mihul* a desfăşurat o activitate de peste 46 ani, începînd din anul 1921, de cînd este numit asistent la Facultatea de ştiinţe.

Între anii 1924—1928 îşi continuă studiile la Nancy (Franţa), obţinînd titlul de doctor în fizică. Reîntors în ţară ocupă succesiv posturile de conferenţiar (1932), profesor (1941) şi profesor sef de catedră (1948), iar din anul 1962 a funcţionat ca decan al Facultăţii de fizică.

O latură importantă a activităţii sale este cea de Preşedinte al Societăţii de Ştiinţe Matematică şi Fizică, Filiala Iaşi şi membru în Consiliul SSMF, între anii 1954—1963. În cadrul acestei societăţi a condus olimpiade, a contribuit la conferinţele organizate de această societate şi a îndrumat organizarea consfătuirilor, ce s-au făcut la Iaşi sau în alte localităţi, cu participarea activă a filialei Iaşi. În prezent face parte din Consiliul de conducere al SSFC din R.S.R. şi duce o muncă intensă pe această linie.

Este cazul să trecem într-o scurtă privire, în paginile revistei noastre, unele din realizările de care este legat numele prof. *C. Mihul*. Peste 40 de ani prof. *C. Mihul* s-a dedicat creaţiei ştiinţifice. Mai întîi la Nancy, între anii 1926—27, publică în Comptes Rendus din Paris 10 lucrări referitoare la configuraţiile electronice şi structura spectrelor sistemelor atomice C_I, C_{II}, O_I, O_{II} şi O_{III}, iar în anul 1928 susţine teza, efectuată sub conducerea prof. *F. Croze*, şi avînd titlul: „Cercetări asupra spectrelor de linii ale oxigenului", trecută ca teză de doctorat de stat în fizică.

Comisia de doctorat a fost prezidată de ilustrul savant *Aimé Cotton*. În teza sa prof. *Mihul* a cuprins cercetări noi de o deosebită importanţă, iar rezultatele sînt cele mai complete şi precise contribuţii în vederea stabilirii structurii spectrului de ordinu IIII al oxigenului. Rezultatele acestea au fost apreciate, între alţii şi de cunoscutul spectroscopist englez *Fowler* şi nici pînă astăzi n-au pierdut nimic din valoarea lor. De curînd, în anul 1965, americanul *Sam. H. Lott* jr. în teza sa de doctorat „Studii asupra efectului Zeeman în cîmpuri intense", ocupîndu-se cu determinarea factorilor lui Landé la O_{II} şi O_{III}, utilizează direct rezultatele prof. *C. Mihul*, obţinute acum 40 de ani în urmă.

Prof. *C. Mihul* mai abordează, singur sau în colaborare cu acad. prof. *Th. V. Ionescu* şi în perioada 1930—1934, şi cu soţia sa, dr. *Irina Mihul*, un alt domeniu de cercetare, cel al descărcărilor electrice în gaze. Rezultatele obţinute sînt publicate, între anii 1930—1940, în Comptes Rendus sau alte reviste şi cuprind un număr de 19 lucrări, în care s-a intreprins studiul variaţiei cu frecvenţa a constantei dielectrice şi a conductibilităţii electrice a gazelor ionizate. Astfel s-a reuşit să se explice pe baza datelor

obținute, o serie de fenomene observate la propagarea undelor electromagnetice scurte și să se dea o imagine a structurii ionosferei. Analizîndu-se propagarea undelor electromagnetice scurte, s-a determinat că în medii, în care constanta dielectrică scade iar coeficientul de absorbție crește, există condiții prielnice pentru reflexia intensă a undelor electromagnetice.

Pe baza acestor constatări dezvoltă, prin anul 1940, teoria reflexiei undelor electromagnetice în medii cu constante optice variind în mod continuu și care se aplică la straturile de gaze ionizate, unde se realizează astfel de condiții.

Începînd cu anul 1954, prof. *C. Mihul* inițiază și conduce un nou domeniu de cercetare la descărcări în gaze, domeniu al oscilațiilor electrice spontane într-o descărcare luminescentă în curent continuu. Pe baza cercetărilor sale publică, singur sau împreună cu numeroși colaboratori 6 lucrări, în care se stabilește natura acestor oscilații, domeniul de presiuni în care are loc și încearcă lămurirea mecanismului producerii lor. Din acest domeniu s-au continuat 3 teze de doctorat de sub conducerea prof. *C. Mihul.*

Tot din anul 1954, revenind la spectroscopie, întreprinde o serie de cercetări asupra produselor petroliere românești. Colectivele de sub conducerea sa au studiat spectrele de absorbție, de fluorescență și de difuzie combinată la o serie de benzine, motorine și uleiuri minerale indigene, aducînd prin aceasta o contribuție valoroasă la cunoașterea acestor produse. Aceste lucrări prezintă în același timp un real interes pentru industria noastră petrolieră.

O altă problemă se referă la o nouă variantă de „model metalic" pentru calculul tranzițiilor electronice la molecule cu duble legături conjugate. Tot în domeniul spectroscopiei prof. *C. Mihul* a inițiat cercetări în legătură cu influența mediului asupra parametrilor spectrali ai moleculelor organice complexe, una dintre aceste lucrări fiind premiată de către Ministerul Invățămîntului.

Rezultatele studiilor spectroscopice, conduse de prof. *C. Mihul*, s-au concretizat în 28 de lucrări, unele dintre ele fiind comunicate de d-sa la Congresele din Amsterdam, Leningrad, Budapesta, Moscova, Gorlitz și Copenhaga. Tot în acest domeniu conduce 9 teze de doctorat.

Munca științifică și de cercetare a cadrelor cu înaltă specializare a fost împletită armonios de către prof. *C. Mihul* cu o valoroasă activitate didactică. Ca profesor a fost un exemplu de corectitudine și exigență. Cursurile sale, adînc gîndite, erau la curent cu cele mai noi descoperiri în domeniul fizicii. Pentru a veni în ajutorul studenților a publicat între anii 1947—1956 patru cursuri, care însumează 1 500 de pagini.

Importantă este contribuția sa ca redactor responsabil al revistei Analele științifice ale Universității „A.I I. Cuza" din Iași, secția fizică și ca membru în Comisia superioară de diplome din cadrul Ministerului Învățămîntului.

Pentru meritele sale deosebite obținute, în munca sa multilaterală, i s-a conferit Ordinul muncii cl. III-a, și i s-a acordat titlul de profesor emerit al R.S.R.. O caracteristică remarcabilă a prof. *C. Mihul* constă în faptul că interesul său viu pentru știință n-a slăbit cu trecerea anilor.

La împlinirea vîrstei de 70 de ani d-sa este în deplinătatea forțelor fizice și a ideilor creatoare. Energia și puterea sa de muncă, înaltul său simț al datoriei, servesc pentru noi toți drept exemplu.

SSFC Filiala Iași.

PAGINI DIN ISTORIA DEZVOLTĂRII ÎNVĂȚĂMÎNTULUI ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC PE MELEAGURILE MOLDOVENE (SEC. XV–XVIII).

Conf. Dr. MAGDA PETROVANU

Învățămîntul, începînd de la cel elementar și culminînd cu cel superior, presupune un sistem închegat de cunoștințe sau, cel puțin, de practici verificate. Din acest motiv, atît conținutul cît și nivelul lui sînt determinate în ultimă instanță, prin intermediul științei, de necesitățile și nivelul producției.

Deși practica chimică, în țara noastră, s-a dezvoltat din cele mai vechi timpuri în cadrul industriei casnice, învățămîntul chimic și tehnic nu are rădăcini prea adînci în trecutul îndepărtat, transmiterea cunoștințelor sau mai exact a meșteșugurilor făcîndu-se mai mult de la individ la individ, pe calea uceniciei.

Caracterul feudal al economiei Moldovei, existența pînă în a doua jumătate a sec. al XIX-lea a iobăgiei, într-un cuvînt, relațiile de producție înapoiate sînt suficiente ca să ne explice încetineala și greutățile dezvoltării învățămîntului și a culturii în general.

Abia prin sec. XV-XVI, se poate vorbi de existența în Țările Române a unui sporadic învățămînt elementar, redus, de multe ori, la scris, citit, pe lîngă unele mînăstiri și biserici. La aceste școli se vor fi predat, probabil și unele cunoștințe de aritmetică și geometrie. Într-un document datat — Iași 22 mai 1477, în final găsim expresia : „a scris Ion dascălul". Această formulare se repetă și în alte documente.

Cunoștințele tehnice privind construcția de cetăți, poduri, case, problemele de hotărnicie erau predate în cadrul învățămîntului profesional de pe lîngă curțile domnești. Fii de boieri erau trimiși, de cele mai multe ori, în Polonia ca să capete cunoștințe mai înalte.

Luînd în considerare această rămînere în urmă a învățămîntului, înființarea Școlii latine de la Cotnari de către Despot -Vodă în anul 1562 a reprezentat un eveniment cultural de o importanță deosebită, care dovedește că dezvoltarea impetuoasă a culturii și științei în epoca ce a urmat Renașterii, a găsit ecou și în țara noastră.

Puternic influențat de atmosfera Renașterii și a mișcării umaniste din Apusul Europei, unde a trăit și învățat, Iacob Eraclit Despotul, ajuns domn al Moldovei și-a propus să se înconjoare de savanți, poeți, să întemeieze bibilioteci și școli.

Cele mai multe informații, care ne-au parvenit în legătură cu colegiul de la Cotnari, le datorăm lui Iohannes Sommer Pirnensis, poet și învățat umanist, venit în Moldova la chemarea lui Despot-Vodă, pentru a fi profesor la colegiul nou înființat la Cotnari (care pe vremea aceea era al doilea centru ca mărime după Suceava).

Documentele vremii atestă că Despot-Vodă a înființat școala pentru copii „de pretutindeni din țară pentru a-i învăța" („Collectis passim ex provincia puieris, quos docere"). Tot din documente aflăm că în această școală „copiii primeau instrucție, hrană și îmbrăcăminte" scopul școlii fiind acela de a-i familiariza pe elevi cu limba latină. De ce era necesară învățarea limbii latine? La această întrebare putem răspunde logic că în sec. XVI, în toate universitățile existente în Europa cursurile se țineau în limba latină și prin urmare nu puteau fi audiate decît de cei ce cunoșteau această limbă.

Prin urmare, înființarea școlii latine atestă intenția lui Despot-Vodă de a fonda și o universitate, pentru care avea nevoie de cunoscători ai limbii latine.

Din acest punct de vedere „școala latină" ne apare importantă prin misiunea ei de a deschide românilor poarta spre marea cultură a epocii.

Importanța colegiului de la Cotnari rezidă și în faptul că a prilejuit și fondarea unei foarte valoroase biblioteci de curte. Este foarte probabil că sediul acestei biblioteci a fost la Suceava, orașul de reședință a curții domnești, mai ales că, așa cum arată Sommer în biografia lui Despot („Vita Iacobi") „el (Despot) se desfăta mult cu acele studii și-și aduna instrumente de artă de mare preț de pretutindeni . . . ".

Deși nu cunoaștem exact ce cărți conținea biblioteca de curte a lui Despot, avem indicii serioase în favoarea susținerii faptului că o bună parte din aceste cărți se găsesc astăzi la biblioteca centrală a Universității din Iași.

Pe lîngă cărți religioase, de istorie, de literatură, biblioteca lui Despot conținea valoroase cărți de matematică, geometrie, științe naturale, chimie, medicină.

Menționăm doar cîteva din aceste cărți :

I. Hünster Sebastian : La cosmographie universelle contenant la situation de toutes les parties du monde avec leurs propriétés et appartenances. Bâle — 1552.

Cartea se află la Biblioteca Centrală din Iași și are o serie de însemnări din epocă într-un scris care seamănă cu scrisul lui Despot.

Rudimentorum cosmographicorum Ioan Honteri, De variarum rerum nomenclaturis per classes liber I (Zürich 1549).

Scriptorum publice propositorum a gubernatoribus studiosorum in academia Witebergensi — Tomus secundus complecteris annum 1553 et tres sequentes Witebergae, excusus apud haeredes Georgii Rhew. Anno 1556.

Această carte a apărut la Wittenberg în 1556, adică tocmai atunci cînd Iacob Eraclide se afla chiar în acel oraș. Volumul conține texte constituind chiar prelegerile profesorilor universității din Wittenberg dintre care unii prieteni ai lui Despot.

Pedanii Dioscoridis libri octo graece et latine Anazarbei de medicinali materia (1549).

Știind că Despot a făcut el însuși studii de medicină și totodată că era prieten cu Gaspar Pencer, care cultiva medicina este, de asemenea, de presupus că Despot și-a procurat și această carte.

Din enumerarea acestor cîteva titluri de cărți putem trage concluzia că biblioteca de curte a lui Despot a contribuit mult la deșteptarea dorinței de cunoaștere, favorizînd dezvoltarea științei și tehnicii.

Am arătat mai sus că Despot avea în proiect înființarea unei „Academii".

În sec. XV și XVI termenul de „academie" deasemna grupări libere de învățați, cercuri de savanți care se îndeletniceau cu cultivarea științelor și literelor, reuniuni de oameni de știință, de litere și de filozofie. Unele din aceste academii încep să dezvolte o activitate didactică tot mai însemnată, organizînd cursuri publice care, cu timpul, devin rațiunea principală a vieții lor.

Din documentele vremii aflăm că Despot intenționa să aducă „la sine" (la Suceava) un cerc de învățați reputați ca Gaspar Pencer, G. Ioachim Rhaeticus, L. Hermodor, Lismanin ș.a.

Ceea ce merită a fi remarcat este faptul, că ținînd seama de personalitățile savanților invitați de Despot, Academia de la Suceava avea să se încadreze printre acelea care promovau un umanism orientat științific.

Deși această Academie n-a luat ființă din cauza unor împrejurări nefavorabile, preocupările în legătură cu necesitatea unei atari instituții au stimulat interesul oamenilor pentru cultură și știință, pregătind un teren favorabil înființării Academiilor de mai tîrziu.

Distrugerea operei începute de Despot, a constituit un fapt regretabil în privința dezvoltării culturii și științei în Moldova. Așa cum arată și Sommer, vina acestor distrugeri o poartă boierii și nu poporul. . . „noi știm că nu glasul poporului a hotărît această moarte, ci boierii au pus la cale vicleniile, eu nu-i port ură poporului".

Desființarea școlii de la Cotnari de către boieri și cler a însemnat, cel puțin pentru o perioadă de timp, actul de a împiedica poporul român să se încadreze în mișcarea culturală a epocii și prin aceasta, de a întîrzia atît progresul cultural al neamului nostru cît și unele realizări ce s-ar fi putut obține și pe alte planuri.

Apreciind școala de la Cotnari de pe pozițiile noastre de astăzi putem spune că ea a fost un început de viață școlară nouă, o încercare de eliberare de sub tirania culturii feudale, reacționare și de dezvoltare în lumina umanismului.

În prima jumătate a sec. al XVII-lea, iezuiții polonezi deschid la Iași și la Cotnari, colegii în care se studiau mai mult probleme teologice și limbi străine.

În 1640, domnitorul Vasile Lupu întemeiază la biserica „Trei Ierarhi" din Iași un colegiu cu caracter latino-grec, destinat exclusiv boierimii. Studiul științelor, al „artelor liberale" ocupa un loc mai puțin însemnat.

În anul 1714, N. Mavrocordat, primul domn fanariot, reorganizează vechiul colegiu vasilian, transformîndu-l într-o „Academie domnească". Moldova era pe atunci un stat feudal în care boierimea și clerul stăpîneau cea mai mare parte din pămîntul țării. Apariția domnilor fanarioți în Principate a contribuit, într-o oarecare măsură, la înfrîngerea atotputerniciei boierești, deoarece domnii fanarioți nu mai depindeau, ca în trecut, de boieri ci erau numiți de Poartă. Ajunși domni, fanarioții erau conștienți de nevoia de a-și întări puterea politică și în acest scop recurgeau la mijloace variate, printre care și la școală.

De altfel, începînd cu sec. al XVIII-lea, ca urmare a dezvoltării clasei meseriașilor și a manufacturilor în Moldova a început să se simtă, din ce în ce mai mult, nevoia unei culturi orientate spre cunoștințe practice și a unei științe realiste, într-un cuvînt spre o cultură laică.

Pe de altă parte, încă din anul 1712 se produce primul contact al principatelor cu ideile iluminiștilor și raționaliștilor francezi, prin intermediul intelectualilor formați la Universitatea din Halle, dintre care unii au venit în principate ca preceptori în familiile boierești.

Aceste condiții social-economice noi ne explică amploarea pe care a avut-o de la început Academia domnească din Iași. Această Academie a dăinuit 107 ani.

Inițiată sub forma unui grup de școli: școala elinească, școala de grecește, de slavonește și de moldovenește, Academia domnească s-a dez-

voltat şi şi-a schimbat profilul în funcţie de nivelul de dezvoltare a forţelor de producţie ale societăţii moldoveneşti.

La început, cît au predominat relaţiile de producţie feudale, învăţămîntul avea un caracter scolastic, formal şi sec. Astfel în prima etapă de dezvoltare (1714—1764) în şcoală se predau gramatica, retorica şi poetica, literatura şi logica. Abia pe la 1755 s-au adăugat ştiinţele filozofice aristotelice (fizica, despre suflet, despre cer, despre naştere şi pieire, metafizica etc).

Nevoia din ce în ce mai acută de ingineri, arhitecţi, tehnicieni, determinată de dezvoltarea oraşului, intensificarea comerţului intern şi a celui cu străinătatea a determinat introducerea unor discipline ştiinţifice în programa de învăţămînt a Academiei Domneşti. Astfel, Alexandru Moruzi în anul 1792—1793 dă o reformă prin care se acordă o mai mare importanţă ştiinţelor practice întrucît „o academie fără epistimiuri este ca o casă fără ferestre". Cu această ocazie Academia capătă titulatura de „Academie de filologie şi ştiinţe".

În această a doua etapă de dezvoltare a Academiei din Iaşi, învăţămîntul fizicii, în special, s-a modificat esenţial, fizica aristoteliană fiind înlocuită cu fizica modernă. Acest proces început de profesorul Nicolae Cercel încă prin anii 1761—1763, este continuat de Nichifor Theotokis.

În ceea ce priveşte conţinutul cursului de fizică din documentele vremii aflăm că se predau : noţiuni de mecanica solidelor şi a lichidelor, noţiuni de optică, acustică, principiile fundamentale ale meteorologiei, noţiuni de electricitate şi magnetism.

În ceea ce priveşte metodele de predare, aflăm tot din fizica de Theotokis şi anume din numeroasele planşe de la sfîrşitul cărţii, că lecţiile se predau pe baza de experienţe efectuate cu ajutorul unui aparat instrumentar numeros şi complicat.

Alături de fizică, o atenţie deosebită se acorda şi matematicii. Cotitura în maniera de predare a matematicii şi în conţinutul cursului de matematică s-a datorat tot lui N. Cercel, profesor la Academia domnească din Iaşi în jurul anilor 1761—1763.

La Academia domnească din Iaşi, cursurile de matematică aveau o orientare practică. Aşa de exemplu, cursul de aritmetică de N. Theotokis după ce trata cele patru operaţii, fracţiile, extragerea rădăcinilor, logaritmii, trata despre diferite metode de schimb pentru comercianţi. La fel geometria avea o orientare analogă ; aceasta se vede din conţinutul lucrării „Învăţătură practică pentru a măsura întinderea cîmpului".

Cursul lui N. Cercel, tradus după C. Wolff, conţinea, pe lîngă studiul planimetriei şi stereometriei, reguli pentru măsurarea capacităţilor şi a vaselor şi tabele de figuri. În fine, la Trigonometrie se preda trigonometria plană şi sferică, pe bază de figuri explicative.

Manualele şi cursurile de pe care se predau ştiinţele matematice erau traduceri sau prelucrări după lucrări germane, engleze, franceze.

La Academia domnească o atenţie deosebită se acorda şi ştiinţelor juridice, iar, după relatările lui N. Iorga, se pare că şi studiul limbilor străine, franceza, germana, era la înălţime, mai ales că la biblioteca şcolii se găseau multe cărţi în limba franceză.

Elevii Academiei domneşti din Iaşi au fost, în majoritatea lor, români, dar ei erau obligaţi să înveţe limba elină ; în ceea ce priveşte proveniența socială, majoritatea elevilor erau fii de boieri sau fii ai celor ce gravitau în jurul familiilor boiereşti.

Mai toată vremea cît a funcţionat Academia domnească din Iaşi, profesorii ei nu erau profesori „pe materii de specialitate". Înarmaţi cu o cultură enciclopedică, ei erau gata să predea toate obiectele de învăţămînt. Tipic este cazul lui Dimitrie Gobdela, care-şi zicea „profesor de filozofie şi arte libere" dar care se oferea să predea algebra, geometria, trigonometria, mecanica, hidraulica, optica, astronomia, logica, metafizica, cosmologia, teologia şi etica. Gobdela a tipărit în 1808 la Halle o algebră pusă la curent cu cele mai moderne cercetări, iar la Iaşi o aritmetică.

Este aici locul să menţionăm că, spre sfîrşitul secolului al XVIII-lea şcolile elementare în limba română încep să capete o oarecare dezvoltare şi, în consecinţă, se simţea nevoia unor manuale româneşti.

Unul din primele manuale de aritmetică, tipărit în Principate, îl datorăm lui Amfilochie şi a apărut la Iaşi în 1795.

La 15 noiembrie 1813, se întîmplă un eveniment extrem de important în viaţa Academiei domneşti. Scarlat Calimah, cu toată opoziţia dîrză a rectorului Academiei, dispune ca predarea cursurilor *să se facă în românește* şi numeşte ca profesor pe Gheorghe Asachi, care la vîrsta de 17 ani profesa deja ingineria ce o învăţase la Lemberg, unde fusese cu părinţii lui să-şi ia doctoratul în filozofie. Intors în ţară făcea lucrări de hotărnicie şi planuri de case.

Astfel, ia fiinţă în 1813, prima „şcoală de ingineri hotarnici şi de ingineri civili". Era „un clas de inginerie şi hotărnicie în limba română" alipit pe lîngă Academia domnească, aşa cum stabilea hrisovul lui Calimachi.

Gh. Asachi a funcţionat ca profesor la Academia domnească din ianuarie 1814 cînd şi-a deschis cursul, pînă în iunie 1818. De-alungul întregii sale activităţi didactice, Gh. Asachi a probat calităţi de profesor, organizator de şcoală, autor de manuale şi pedagog.

Ca profesor, el a dovedit un spirit logic, raţional şi o exigenţă fermă faţă de elevi. Bun organizator, Asachi a ştiut să-şi întocmească „o clasă de elevi" şi o programă de studii demnă de un învăţămînt superior.

Mai tîrziu, Asachi a organizat seminarul de la Socola (1820), Şcoala elementară şi gimnaziul de la „Trei Sfetitele" (1828), Şcoala de fete din Iaşi (1834), Şcoala militară din Iaşi, ş.a.

Luînd în considerare numărul apreciabil de şcoli, la a căror întemeiere şi organizare Gh. Asachi a participat cu rol de frunte, sîntem înclinaţi să considerăm că principalul merit cu care el va rămîne în istoria noastră este acela de organizator al şcolii din Moldova din prima jumătate a sec. al XIX-lea

Acestui merit îi urmează însă ca importanţă acela exercitat în legătură cu manualele şcolare. Aici el a avut un dublu rol : a întocmit el însuşi manuale dintre care cele mai importante sînt cele de ştiinţe matematice (de aritmetică, geometrie şi algebră) ; Gh. Asachi a încurajat şi a dat altora directive pentru întocmirea de manuale. Cu acest prilej a fost exigent cu sine însuşi cît şi cu alţii. Manualele lui sînt foarte îngrijit elaborate : stil clar şi sobru, fond ştiinţific, prezentare sistematică, oglindind influenţa gîndirii şi pedagogiei iluministe.

Gh. Asachi a desfăşurat şi o activitate remarcabilă de pedagog. Deşi acest înflăcărat om de şcoală n-a scris vreun tratat de pedagogie şi nici n-a încercat studii ştiinţifice despre învăţămînt şi educaţie, în numeroasele lui discursuri ţinute cu ocazia diverselor solemnităţi şcolare, el a exprimat valoroase idei pedagogice. Astfel Gh. Asachi considera că şcoala

trebuie să formeze oameni capabili şi buni cetăţeni, că învăţământul trebuie să se facă în limba poporului, că funcţia şcolii stă în acţiunea de a lumina poporul.

Aceste concepţii pedagogice puternic influenţate de curentul iluminist, Asachi le-a exprimat în anul 1820 într-un sonet, în versuri de adîncă semnificaţie :

„Cele neguri ce-s în rîpa Flegetorului născute
A'lor aripi întinsese peste-a Daciei cîmpie,
Iar fantome-a rătăcirii prin un somn de trîndăvie
Tineau mult timp îngînată a Românilor virtute
Muzele-n nemernicie spăimîntate-umblau şi mute
Neîndrăznind idioma patriei din cenuşa ei să-nvie;
Numai zefirul şi rîul cu'ntristată armonie
Îngînau, gemînd, a patriei strălucirile pierdute
Însă privirea-ndurată ni-a sfărîmat fatale fiare
Şi în zare-acum răsare dulce-a zorilor scînteie. . ."

Şcoala lui Asachi a scos o promoţie de absolvenţi în 1818. Printre aceşti tineri se numără şi cunoscuţii ingineri hotarnici şi „geometri" Osvald Scarlat, Costache Geţu şi Petrache Asachi.

Şcoala lui Asachi, ca şi cea a lui Gh. Lazăr de la Bucureşti, s-au întrerupt odată cu revoluţia din 1821.

Prin noile statorniciri ale regulamentului organic, s-a reorganizat vechea Academie Vasiliană întemeiată la Mrea Trei Ierarhi.

Prin reînceperea funcţionării Şcolii Vasiliene în 1828, tot neobositul cărturar Gh. Asachi continuă vechea Academie domnească de data aceasta cu o nouă organizare „mai întemeiată şi înflorită pentru dreapta luminare a neamului prin paradosirea tuturor claselor învăţăturii şi folositoarelor epistemii în limba românească".

În 1830 „Albina Românească" şi „Curierul Românesc" menţionează succesul examenelor de fine de an ale Şcolii Vasiliene din Iaşi.

Experienţa acumulată de aceste academii moldovene de-alungul anilor a permis desigur, organizarea în condiţii mult mai bune a altor tipuri de Academii, premergătoare Universităţilor.

AXOIDELE SISTEMELOR RIGIDE

Conf. *VIRGIL OLARIU* Institutul Politehnic Braşov

1. Ecuaţiile axoidelor şi centroidelor

Dacă un sistem rigid este antrenat simultan de către un sistem de viteze unghiulare oarecare, primeşte o mişcare generală.

În cazul sistemelor rigide cu mişcare generală axa instantanee a mişcării elicoidale fiind variabilă în timp, generează în raport cu sistemul de referinţă fix $0_1\ x_1\ y_1\ z_1$ o suprafaţă riglată numită axoidă fixă, iar în raport cu sistemul de referinţă mobil $0\ x\ y\ z$, solidar ci sistemul rigid, o altă suprafaţă riglată numită axoidă mobilă.

Dacă sistemul de viteze unghiulare aplicat sistemului rigid, se reduce într-un punct 0 al acestuia la torsorul $(\bar{\omega}, \bar{v}_0)$ axa instantanee a mișcării elicoidale va trece prin punctul P (fig. 1) care se găsește la extremitatea vectorului $\bar{d} = \frac{\bar{\omega} \times \bar{v}_0}{\omega^2}$ ce exprimă distanța de la origina torsorului la

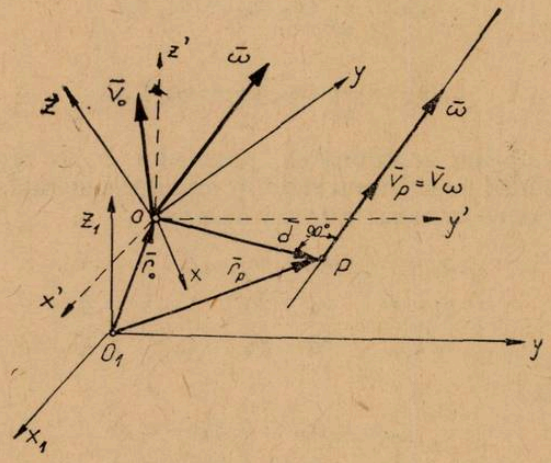


Fig. 1

axa centrală. Vectorul de poziție al punctului P, în raport cu origina sistemului fix $0_1\ x_1\ y_1\ z_1$ este

$$\bar{r}_P = \bar{r}_0 + \frac{\bar{\omega} \times \bar{v}_0}{\omega^2} \tag{1}$$

Raportînd vectorii din această relație la sistemul de referință fix $0_1\ x_1\ y_1\ z_1$ se obține relația

$$x_{p_1}\bar{i} + y_{P_1}\bar{j}_1 + z_{p_1}\bar{k} = x_0\bar{i}_1 + y_0\bar{j}_1 + z_0\bar{k}_1 + \frac{1}{\omega^2}\begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ \omega_{x_1} & \omega_{y_1} & \omega_{z_1} \\ \dot{x}_0 & \dot{y}_0 & \dot{z}_0 \end{vmatrix}$$

din care rezultă coordonatele punctului P în raport cu sistemul de referință fix :

$$\left.\begin{aligned} x_{P_1} &= x_0 + \frac{1}{\omega^2}(\omega_{y_1}\dot{z}_0 = \omega_{z_1}\dot{y}_0) \\ y_{P_1} &= y_0 + \frac{1}{\omega^2}(\omega_{z_1}\dot{x}_0 = \omega_{x_1}\dot{z}_0) \\ z &= z + (\omega_{x_1}\dot{y}_0 = \omega_{y_1}\dot{x}_0) \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

Pentru a obține coordonatele punctului P în raport cu sistemul $0\ x'\ y'\ z'$, avînd origina în 0 și axele paralele cu axele sistemului fix se aplică formulele de transformare în cazul translației de axe :

$$x'_P = x_{P_1} - x_0\ ;\ y'_P = y_{P_1} - y_0\ ;\ z'_P = z_{P_1} - z_0 \tag{3}$$

Ţinînd seama de relaţiile (15) coordonatele punctului P, în raport cu sistemul 0 x' y' z' devin :

$$\left.\begin{aligned} x'_P &= \frac{1}{\omega^2}(\omega_{J_1}\dot{z}_0 - \omega_{z_1}\dot{y}_0) \\ y'_P &= \frac{1}{\omega^2}(\omega_{z_1}\dot{x}_0 - \omega_{x_1}\dot{z}_0) \\ z'_P &= \frac{1}{\omega^2}(\omega_{x_1}\dot{y}_0 - \omega_{J_1}\dot{x}_0) \end{aligned}\right\} \tag{4}$$

Pentru a obţine coordonatele punctului P în raport cu sistemul mobil 0 $x\,y\,z$ solidar cu sistemul rigid în mişcare generală, se aplică formulele de transformare în cazul rotaţiei de axe :

$$\begin{Vmatrix} x_P \\ y_P \\ z_P \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{Vmatrix} \cdot \begin{Vmatrix} x'_P \\ y'_P \\ z'_P \end{Vmatrix} \tag{5}$$

din care rezultă :

$$\begin{aligned} x_P &= a_1 x'_P + b_1 y'_P + c_1 z'_P \\ y_P &= a_2 x'_P + b_2 y'_P + c_2 z'_P \\ z_P &= a_3 x'_P + b_3 y'_P + c_3 z'_P \end{aligned}$$

Cosinusurile directoare din aceste relaţii satisfac condiţiile :

$$\begin{aligned} \bar{i} &= a_1\bar{i}' + b_1\bar{j}' + c_1\bar{k}' \\ \bar{j} &= a_2\bar{i}' + b_2\bar{j}' + c_2\bar{k}' \\ \bar{k} &= a_3\bar{i}' + b_3\bar{j}' + c_3\bar{k}' \end{aligned}$$

prin urmare se vor exprima în funcţie de unghiurile lui Euler (Ψ, φ, ϑ) prin relaţiile :

$$\left.\begin{aligned} a_1 &= \bar{i}\cdot\bar{i}' = \cos\psi\cdot\cos\varphi - \sin\psi\cdot\sin\varphi\cdot\cos\vartheta \\ b_1 &= \bar{i}\cdot\bar{j}' = \sin\psi\cdot\cos\varphi + \cos\psi\cdot\sin\varphi\cdot\cos\vartheta \\ c_1 &= \bar{i}\cdot\bar{k}' = \sin\varphi\cdot\sin\vartheta \\ a_2 &= \bar{j}\cdot\bar{i}' = -\cos\psi\cdot\sin\varphi - \sin\psi\cdot\cos\varphi\cdot\cos\vartheta \\ b_2 &= \bar{j}\cdot\bar{j}' = -\sin\psi\cdot\sin\varphi + \cos\psi\cdot\cos\varphi\cdot\cos\vartheta \\ c_2 &= \bar{j}\cdot\bar{k}' = \cos\varphi\cdot\sin\vartheta \\ a_3 &= \bar{k}\cdot\bar{i}' = \sin\psi\cdot\sin\vartheta \\ b_3 &= \bar{k}\cdot\bar{j}' = -\cos\psi\cdot\sin\vartheta \\ c_3 &= \bar{k}\cdot\bar{k}' = \cos\vartheta \end{aligned}\right\} \tag{7}$$

Ecuaţiile canonice ale axei instantanee a mişcării elicoidale raportate la sistemul de referinţă fix $0_1\ x_1\ y_1\ z_1$ sînt

$$\frac{x_1 - x_{P_1}}{\omega_{x_1}} = \frac{y_1 - y_{P_1}}{\omega_{y_1}} = \frac{z_1 - z_{P_1}}{\omega_{z_1}} \tag{8}$$

iar cele raportate la sistemul de referință mobil $0xyz$, solidar cu sistemul rigid, sînt :

$$\frac{x - x_P}{\omega_x} = \frac{y - y_P}{\omega_y} = \frac{z - z_P}{\omega_z} \tag{9}$$

În aceste ecuații proiecțiile vitezei unghiulare instantanee, pe axele sistemului fix și mobil, au următoarele expresii ; în funcție de unghiurile lui Euler :

$$\begin{aligned} \omega_{x_1} &= \dot{\varphi} \sin \psi \sin \vartheta + \dot{\vartheta} \cos \psi \\ \omega_{y_1} &= -\dot{\varphi} \cos \psi \sin \vartheta + \dot{\vartheta} \sin \psi \\ \omega_{z_1} &= \dot{\varphi} \cos \vartheta + \dot{\psi} \end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned} \omega_x &= \dot{\psi} \sin \varphi \sin \vartheta + \dot{\vartheta} \cos \varphi \\ \omega_y &= \dot{\psi} \cos \varphi \sin \vartheta - \dot{\vartheta} \sin \varphi \\ \omega_z &= \dot{\psi} \cos \vartheta + \dot{\varphi} \end{aligned} \tag{11}$$

de asemenea modulul vitezei unghiulare are în funcție de unghiurile lui Euler, expresia

$$\omega^2 = \dot{\psi}^2 + \dot{\varphi}^2 + \dot{\vartheta}^2 + 2\,\dot{\psi}\,\dot{\varphi} \cos \vartheta \tag{12}$$

Ținînd seama de relațiile (2), (4), (6), (7), (10),(11) și (12) se observă că ecuațiile canonice (8) și (9) ale axei instantanee a mișcării elicoidale sînt funcții de timp și de unghiurile lui Euler, care la rîndul lor sînt și ele funcții de timp. Ca urmare, parametrul variabil din ecuațiile canonice (8) și (9) poate fi considerat timpul. Eliminînd acest parametru variabil între cele două sisteme de ecuații parametrice (8) și (9) se obțin ecuațiile analitice ale axoidei fixe și mobile care reprezintă suprafețe algebrice riglate.

În particular, dacă sistemul rigid are o mișcare în jurul unui punct fix 0_1, origina sistemului mobil poate fi aleasă chiar în acest punct ($0 \equiv 0_1$). În acest caz $\bar{r}_0 = 0$ și sistemul de referință $0_1\, x_1y_1z_1$ coincide cu sistemul $0\, x'y'z'$. Ca urmare, conform relațiilor (2), (4) și (6) rezultă :

$$x_{P_1} = x'_P = x_P = 0\,; \quad y_{P_1} = y'_{P_1} = y_P = 0\,; \quad z_{P_1} = z'_P = z_P = 0,$$

iar ecuațiile canonice (8) și (9) devin :

$$\frac{x_1}{\omega_{x_1}} = \frac{y_1}{\omega_{y_1}} = \frac{z_1}{\omega_{z_1}}, \quad \frac{x}{\omega_x} = \frac{y}{\omega_y} = \frac{z}{\omega_z} \tag{13}$$

care reprezintă axa instantanee de rotație în mișcarea sistemului rigid cu punct fix. Axoidele acestei mișcări sînt conurile lui Poinsot, cu vîrful în punctul fix 0, generate de axa instantanee de rotație. Ecuațiile analitice ale acestor conuri se obțin eliminînd timpul între cele două sisteme de ecuații parametrice (13).

Dacă sistemul rigid are o mișcare plan-paralelă, planele $0_1x_1y_1$ și $0\ x\ y$ se suprapun iar punctul P devine centru instantaneu de rotație ($P \equiv$ I). Axa centrală este paralelă cu axele 0_1z_1 respectiv $0z$, trecînd prin punctul $P \equiv I$, iar vectorii $\bar{r}_0$ și $\bar{d}$ sînt cuprinși în planul $0_1x_1y_1$. Se poate scrie deci :

$$z_0 = 0\,; \quad \omega_{x_1} = \omega_x = \omega_{y_1} = \omega_y = 0\,; \quad \omega_{z_1} = \omega_z = \omega\,;$$

$$z_{I_1} = z'_I = z_I = 0\,; \quad \vartheta = 0, \quad \psi + \varphi = 0, \quad \theta = \theta(t)\,;$$

Ca urmare ecuațiile (2) devin :

$$x_{I_1} = x_0 - \frac{\dot{y}_0}{\omega}; \quad y_{I_1} = y_0 + \frac{\dot{x}_0}{\omega}$$

Ținînd seama că $\omega = \frac{d\theta}{dt}$ rezultă :

$$x_{I_1} = x_0 - \frac{dy_0}{d\theta}; \quad y_{I_1} = y_0 + \frac{dx_0}{d\theta} \tag{14}$$

Aceste relații exprimă coordonatele centrului instantaneu de rotație în raport cu sistemul de referință fix, respectiv ecuațiile parametrice ale locului geometric al centrului instantaneu de rotație în raport cu sistemul de referință fix. Acest loc geometric este o curbă plană numită centroidă fixă sau bază.

Ținînd seama de relațiile (3) și (14) ecuațiile (4) se reduc la

$$x'_I = -\frac{dy_0}{d\theta}; \quad y'_I = \frac{dx_0}{d\theta} \tag{15}$$

Cosinusurile directoare, exprimate prin relația (7), devin în acest caz :

$$\left.\begin{array}{lllll} a_1 = \cos\theta; & b_1 = \sin\theta; & c_1 = 0; & a_2 = -\sin\theta; & b_2 = \cos\theta \\ c_2 = 0; & a_3 = 0; & b_3 = 0; & c_3 = 1; & \end{array}\right\} \tag{16}$$

Ținînd seama de expresiile (15) și (16) ecuațiile (6) se reduc la :

$$x_I = \frac{dx}{d\theta}\sin\theta - \frac{dy_0}{d\theta}\cos\theta; \quad y_I = \frac{dy_0}{d\theta}\sin\theta + \frac{dx_0}{d\theta}\cos\theta \tag{17}$$

Aceste relații exprimă coordonatele centrului instantaneu de rotație în raport cu sistemul de referință mobil, respectiv ecuațiile parametrice ale locului geometric al centrului instantaneu de rotație în raport cu sistemul de referință mobil. Acest loc geometric este o curbă plană numită centroidă mobilă sau rostogolitoare.

În mișcarea plan-paralelă axoida fixă este o suprafață cilindrică avînd drept directoare centroida fixă (baza), iar axoida mobilă este de asemenea o suprafață cilindrică avînd ca directoare centroida mobilă (rostogolitoarea). Ținînd seama că în mișcarea plan-paralelă versorul axei instantanee de rotație este constant, generatoarele axoidelor sînt normale la planul centroidelor. Cu alte cuvinte centroidele reprezintă interesecția axoidelor cu un plan normal pe direcția generatoarei comune (suportul vitezei unghiulare instantanee ϖ).

2. Deplasarea axoidei mobile

Pentru studiul mișcării axoidei mobile față de cea fixă, în cazul sistemului rigid cu mișcarea generală se consideră un punct P (fig. 2) pe generatoarea comună a axoidelor. Locul geometric al punctului P, în raport cu sistemul de referință fix, este curba (C_1) pe axoida fixă, iar în raport cu sistemul de referință mobil este curba (C) pe axoida mobilă. Vectorul de poziție al punctului P în raport cu origina sistemului de referință mobil $0\ x\ y\ z$,

solidar cu sistemul rigid, este $\bar{\rho}$, iar în raport cu origina sistemului de referință fix $0_1\ x_1\ y_1\ z_1$ este

$$\bar{r} = \bar{r}_0 + \bar{\rho} \tag{18}$$

Derivînd această expresie în raport cu timpul și aplicînd pentru vectorul $\bar{\rho}$ derivata absolută, în funcție de derivata relativă, se obține relația :

$$\dot{\bar{r}} = \dot{\bar{r}}_0 + \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + \bar{\omega} \times \bar{\rho} \tag{19}$$

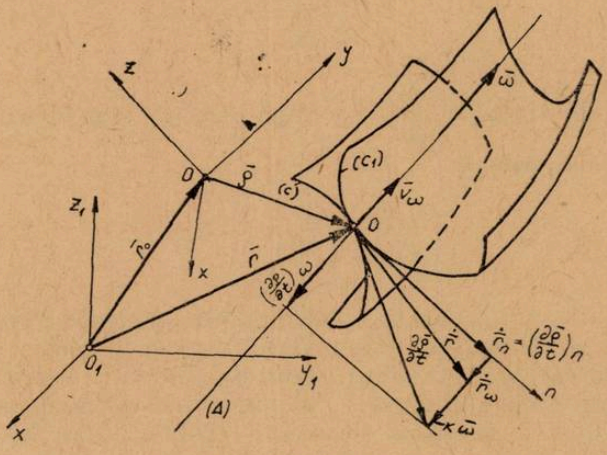


Fig. 2

în care :

$\dot{\bar{r}}$ este viteza de schimbare a poziției punctului P pe curba (C_1) ;

$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t}$ — viteza de schimbare a poziției punctului P pe curba (C) ;

$\dot{\bar{r}} + \omega \times \bar{\rho}$ — viteza instantanee a acelui punct al sistemului rigid cu mișcare generală care coincide la un moment dat cu punctul P de pe generatoarea comună a axoidelor ; se poate scrie deci :

$$\bar{V}_\omega = k\,\varpi = \dot{\bar{r}}_0 + \varpi\, x\, \bar{\rho} \tag{20}$$

Din relațiile (19) și (20) rezultă

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} - \dot{\bar{r}} = -\,k\,\varpi \tag{21}$$

Viteza $\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t}$ fiind tangentă la curba (C) este conținută de planul tangent în P la axoida mobilă, de asemenea viteza $\dot{\bar{r}}$ fiind tangentă la curba (C_1) este conținută de planul tangent în P la axoida fixă.

Relația (21) impune vectorilor $\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t}$, $\dot{\bar{r}}$ și $\bar{\omega}$ să fie coplanari, ca urmare cele două plane tangente în P la axoide se confundă conținînd în același timp și generatoarea comună a axoidelor. Rezultă deci că axoidele sînt tangente de-a lungul generatoarei lor comune.

Conform relației (21) diferența dintre vitezele $\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t}$ și $\dot{\bar{r}}$ reprezintă un vector egal în modul și direct opus cu viteza liniară minimă $\bar{V}_\omega = k\bar{\omega}$ deci extremitățile acestor viteze se vor găsi pe o dreaptă paralelă cu (Δ); prin urmare componentele vitezelor $\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t}$ și $\dot{\bar{r}}$ după direcția normală în P la generatoarea comună a axoidelor vor fi egale, adică

$$\left(\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t}\right)_n = \dot{\bar{r}}_n \tag{22}$$

iar componentele vitezelor $\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t}$ și $\dot{\bar{r}}$ după direcția generatoarei comune a axoidelor, satisfac relația

$$\left(\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t}\right)_\omega - \dot{\bar{r}}_\omega = -k\bar{\omega} \tag{23}$$

Relațiile (22) și (23) arată că în mișcarea generală a sistemului rigid axoida mobilă se rostogolește peste axoida fixă și în același timp alunecă de-a lungul generatoarei comune : viteza de alunecare $-k\bar{\omega}$ fiind egală în modul cu viteza liniară minimă V a punctelor sistemului rigid.

În particular, la mișcarea sistemului rigid cu punct fix și la mișcarea plan-paralelă, viteza liniară minimă $V_\omega = \frac{\bar{\omega} \cdot \bar{\omega}_0}{\omega}$ este nulă (ținînd seama că în mișcarea sistemului rigid cu punct fix $\bar{V}_0 = 0$, iar în mișcarea plan-paralelă $\bar{\omega} \cdot \bar{V}_0 = 0$). Aceasta arată că punctele generatoarei comune, a conurilor lui Poinsot, respectiv a axoidelor mișcării plan-paralele au, la un moment dat, viteză nulă ; de altă parte tot din condiția $V_\omega = 0$, se trage concluzia că, în mișcarea sistemului rigid cu punct fix și în mișcarea plan-paralelă, deplasarea axoidei mobile față de cea fixă este o rostogolire pură fără alunecare de-a lungul generatoarei comune a axoidelor.

BIBLIOGRAFIE

[1] *Artobolevski I. I.* Teoria mecanismelor și mașinilor, Edit. tehnică, București 1955.
[2] *Ioachimescu A. G.*, Mecanica rațională, București 1947
[3] *Irimiciuc N.*, Mecanica, Edit. Didactică și Pedagogică, București, 1965.
[4] *Olariu, V.*, Mecanica teoretică, vol. II. Institutul Politehnic Brașov, 1964.
[5] *Plăcinteanu I.* Mecanica vectorială și analitică, Edit. tehnică, București 1958
[6] *Stoenescu Al., Siloș Gh.*, Mecanica teoretică. Editura Didactică și Pedagogică, București 1963
[7] *G. K. Suslov.*, Mecanica rațională, vol. I. Edit. tehnică, București 1950
[8] *V. Vilcovici, St. Bălan, R. Voinea*, Mecanica teoretică, Editura tehnică, București, 1963.

DIN LUCRĂRILE CONSFĂTUIRII DE LA ORADEA

ORGANIZAREA ŞI ÎNDRUMAREA LUCRĂRILOR PRACTICE ÎN CADRUL LABORATOARELOR DE FIZICA DIN INSTIT. PEDAGOGIC DE 3 ANI CONSTANŢA

Colectivul catedrei deFizică de la I. P. Constanţa

Institutele pedagogice de 3 ani reprezintă o importantă creaţie a statului nostru, menită să satisfacă o mare necesitate în formarea cadrelor didactice pentru şcoala generală de 8 ani, să asigure acestora o temeinică pregătire în specialitatea aleasă, să le formeze un orizont de cunoaştere cît mai larg şi în acelaşi timp să le dea şi o temeinică pregătire pedagogică şi metodică, înarmîndu-i cu priceperea şi deprinderea de a lucra cu elevii, de a găsi căile şi mijloacele cele mai eficace pentru instruirea şi educarea acestora.

Studiul fizicii, conform programelor de învăţămînt în vigoare, înarmează pe studenţi cu cunoştinţe temeinice, priceperi şi deprinderi, ajutîndu-i să se orienteze în explicarea fenomenelor naturii şi să înţeleagă just anasamblul de idei călăuzitoare care duc la legarea teoriei de practică, de tehnica modernă.

Înţelegerea şi interpretarea ştiinţifică de către studenţi a legilor fizicii aduce şi o contribuţie importantă la crearea bazelor concepţiei materialist-ştiinţifice despre lume.

Predarea fizicii — îmbracă trei forme de activitate didactică : prelegerea, seminarul şi lucrările de laborator — *prelegerea* reprezentînd forma principală de comunicare a cunoştinţelor, *seminarul* forma de verificare şi consolidare a cunoştinţelor comunicate la curs şi de lărgire a orizontului ştiinţific al studenţilor iar *lucrările de laborator*, forme de adîncire şi înţelegere a fenomenelor fizice, forme de legare a teoriei de practică, dînd posibilitate studenţilor de a veni în contact cu mijloacele ştiinţifico-tehnice moderne de verificare şi aplicare în practică a legilor fizicii şi în acelaşi timp de a le dezvolta priceperi şi deprinderi de mînuire a aparatelor, de efectuare a experienţelor pregătindu-i astfel pentru munca la catedră.

Lucrările de laborator, aşa cum impun obiectivele urmărite în predare, constituind o parte organică a procesului de învăţămînt, în organizarea şi desfăşurarea lor trebuie să se respecte anumite *cerinţe obiective* concretizate în principiile didactice.

În organizarea şi desfăşurarea lucrărilor de laborator se reflectă în primul rînd principiul intuiţiei, studentul vine în contact direct cu anumite materiale, cu aparate ale tehnicii moderne cu ajutorul cărora realizează montaje, verifică legi, fenomene. În această activitate se formează *temelia concretă* a cunoştinţelor şi se consolidează în mintea studenţilor *sensul fizic* al fenomenelor, concepţia materialistă despre lume.

Cu ajutorul lucrărilor se realizează *însuşirea conştientă şi activă* a cunoştinţelor de către studenţi. Astfel, la unii studenţi se manifestă

tendința de a-și însuși formal, mecanic *reguli și formule* fără a le cunoaște adevăratul conținut și sens.

Organizarea bună a lucrărilor de laborator și îndrumarea lor metodică *stimulează participarea lor activă* la efectuarea lucrărilor, învățînd să se folosească de aparatele de fizică ca de niște mijloace de cunoaștere experimentală

Pe lîngă faptul că-i înarmează cu o mai bună înțelegere a fondului fenomenelor și a noțiunilor de fizică lucrările de laborator constituie și un stimulent important pentru studenți, în munca de cercetare științifică.

Lupta împotriva formalismului în însușirea cunoștințelor de fizică, presupune din partea conducătorului lucrărilor de laborator, o continuă preocupare pentru *dezvoltarea gîndirii independente* a studenților, pentru dezvoltarea spiritului de observație, interesului științific față de fenomenele naturii, ajutîndu-i să creeze raționamente proprii asupra fenomenelor înconjurătore.

În organizarea și desfășurarea lucrărilor de laborator se urmărește de asemenea *legarea tot mai strînsă a teoriei de activitatea practică*, lucrările de laborator făcîndu-i pe studenți să înțeleagă că noțiunile și cunoștințele însușite nu trebuie să constituie numai o simplă informație, *ci un fond activ* care să se răsfrîngă în comportare, în activitatea lor de viitori profesori, care să-i ajute în rezolvarea diferitelor probleme didactico-metodice.

Necesitatea lucrărilor de laborator ca verigă importantă în procesul învățăturii, este impusă de faptul că fizica este o știință experimentală.

Primul pas în stabilirea legilor ce guvernează fenomenele fizice este *observația* dar observația științifică este departe de a fi o problemă simplă.

Pentru a putea stabili legile care stau la baza diferitelor fenomene fizice este necesară trecerea de la simpla observație la *experiență*, singura care permite cercetătorului modificarea după dorință și necesitate a condițiilor în care se desfășoară fenomenul studiat, modul în care depinde fenomenul respectiv de diferite mărimi fizice.

Experiența, constituie o parte necesară a procesului de cunoaștere științifică avînd un rol hotărîtor, mai ales ca *sursă* și *criteriu* al realității obiective. În acest scop, ea trebuie să fie efectuată în așa fel încît să fie excluse erorile cît și interpretările echivoce ale rezultatelor obținute.

Experiența însă prezintă importanță nu numai pentru știință pentru fizică, ci și pentru *alte domenii* a căror apariție se datorește dezvoltării impetuoase a diferitelor domenii ale fizicii. Astfel în legătură cu fizica s-au dezvoltat diverse ramuri ale tehnicii : mecanica, termotehnica, frigotehnica, electrotehnica, radiotehnica, electronica, etc.

În acest proces de întrepătrundere al fizicii cu tehnică, *experiența joacă un rol hotărîtor* deoarece pentru a putea folosi în practică diferitele fenomene fizice, ele trebuiesc mai întîi verificate în diferite condiții concrete în care trebuie să aibă loc.

Ori, verificarea acestor condiții se realizează în laborator, laboratorul fiind locul în care studentul trebuie și poate să realizeze complet legătura dintre teorie și practică. În acest scop, lucrările de laborator trebuie să fie

alese în mod judicios, axate pe problematica cursului și să ilustreze cît mai profund conținutul acestuia.

În vederea unei bune organizări a lucrărilor, trebuie să existe o preocupare colectivă a membrilor catedrei pentru procurarea aparatelor, materialelor și ustensilelor necesare pentru organizarea în bune condiții a locului de muncă, a laboratorului. Ținînd seama de specificul muncii de laborator în învățămîntul superior, aparatele trebuie să permită determinări corecte și cît mai precise.

Rolul de conducător, de îndrumător al muncii în laborator revenind asistentului, acesta este obligat să cunoască-pe de o parte problemele teoretice legate de lucrările prevăzute de programă, iar pe de altă parte — principiul de construcție și modul de funcționare al diferitelor aparate în special al celor de precizie — învățînd cum să îndrumeze pe studenți pentru ca aceștia să nu fie simpli executanți, ci să lucreze aplicînd conștient principiile și legile fizice, să adîncească cunoștințele primite la curs și să desfășoare o muncă creatoare.

Deși asistentul cunoaște problemele, avînd o pregătire universitară, totuși este necesar un studiu permanent al acestor probleme la nivel superior, la nivelul științei contemporane. În măsura în care asistentul va reuși să aducă ceva nou, ceva actual în fiecare lucrare, aceasta va deveni mai interesantă, mai atractivă pentru studenți.

Studiul aprofundat al problemelor teoretice de către conducătorul lucrărilor este foarte necesar elaborării „instrucțiunilor" pentru lucrări și deoarece lucrările de fizică în învățămîntul superior nu pot avea un caracter frontal și deci nu pot fi în pas cu predarea cursului, întocmirea „instrucțiunilor" scrise pentru studenți trebuie astfel făcută considerînd că studenții nu au studiat încă la curs problema respectivă, dar că au pregătire suficientă pentru a o înțelege.

„Instrucțiunile" lucrărilor au în general o structură comună tuturor disciplinelor de fizică, fiecare cuprinzînd :

a) numărul și titlul lucrării
b) scopul lucrării
c) teoria lucrării
d) descrierea aparatului și modul de lucru
e) prelucrarea rezultatelor obținute

De buna întocmire a acestor instrucțiuni depinde reușita lucrărilor respective, fapt pentru care se va insista în primul rînd asupra *scopului lucrării* care trebuie să cuprindă pe scurt importanța teoretică și practică a lucrării propuse și să sublinieze importanța utilizării rezultatelor obținute, în tehnică sau în diferite domenii ale științei. Formularea precisă a scopului lucrării trezește curiozitatea și interesul științific al studentului, stimulîndu-l astfel pentru o muncă creatoare. Pe de altă parte acest punct trebuia să facă legătura între materia predată la curs și lucrarea studiată.

Scopul lucrării fiind bine lămurit, studentul va executa lucrarea, încredințat că aceasta nu are un scop în sine ci un scop deosebit de important din considerentele menționate mai sus.

Din punct de vedere al scopului urmărit, lucrările de laborator se pot clasifica în :

1) Lucrări care au drept scop verificarea unor legi fizice ca :

— verificarea legilor mișcării uniform accelerate cu ajutorul planului înclinat

— verificarea legii Boyle-Mariotte

— verificarea legii absorbției luminii de către substanță, etc.

2) Lucrări care au drept scop determinarea anumitor mărimi fizice ca :

— Determinarea coeficientului de dilatare al gazelor sub presiunea constantă.

— Constanta lui Planck

— Constanta lui Rydberg, etc.

3) Lucrări care au drept scop determinarea anumitor mărimi fizice ca :

— Măsurarea temperaturii aerului cu ajutorul termometrului cu gaz.

— Măsurarea rezistențelor mici cu ajutorul punții duble.

— Lungimea de undă a radiației.

— Indicele de refracție al unei substanțe, etc.

Partea a doua a instrucțiunilor — „teoria lucrării", trebuie să cuprindă baza teoretică a legii sau a legilor pe care se întemeiază executarea lucrării.

Deși instrucțiunile nu trebuie să fie deosebit de cuprinzătoare, trebuie totuși ca această parte să fie suficient dezvoltată în scopul de a ajuta pe student să se pregătească temeinic în vederea executării lucrării de laborator, instrucțiunile să cuprindă *esențialul*, cu trimiteri la literatura de specialitate, pentru a obliga pe student la un studiu mai amănunțit.

Dacă lucrarea urmărește verificarea unei legi, se stabilește legea respectivă sau dacă este o lege experimentală se arată pe scurt cum s-a ajuns la ea ; se definește apoi domeniul ei de acțiune și se indică bazele teoretice ale verificării legii. Ex. Dacă lucrarea are drept scop determinarea unor constante fizice universale, în teoria lucrării se indică felul cum au apărut aceste constante în fizică, se discută necesitatea apariției lor, se definesc apoi cu ajutorul altor mărimi și se indică legile în care intervin (constanta lui Planck intervine în toate legile referitoare la fenomenele interacțiunii dintre lumină și substnță). Se stabilește apoi ecuația de dimensiuni a constantei și unitățile ei.

Privitor la valoarea numerică se arată cum a evoluat aceasta în funcție de aparatele tot mai perfecționate și de metodele mai adecvate folosite.

În cazul cînd lucrarea urmărește determinarea unei mărimi fizice, se stabilește formula de definiție a mărimii respective, formulă din care vor rezulta mărimile care se măsoară efectiv, pentru a determina în cele din urmă mărimea căutată.

Privitor la punctul „descrierea aparatului și modul de lucru", este necesar ca instalațiile folosite să fie descrise amănunțit cu ajutorul unor figuri sau scheme clare, îngrijite, insistîndu-se asupra explicării teoretice a funcționării aparatului, făcîndu-se în felul acesta, legătura dintre aparatul folosit și teoria lucrării.

La „modul de lucru" trebuie trecută ca primă operație verificarea aparatului și apoi, în ordine, operațiile prin care se determină mărimile căutate.

În mod obișnuit executarea unei lucrări cuprinde mai multe etape sau momente care trebuie să se succeadă într-o anumită ordine. Din această cauză, metoda de lucru trebuie urmărită pe puncte, care să corespundă cu etapele succesive ale lucrării.

Trebuie accentuat asupra importanței tabelului de date care se întocmește înainte de începerea executării lucrării. Completînd acest tabel, studentul va realiza o sistematizare a datelor obținute prin experiență și în același timp va vedea mai clar concluziile lucrării.

În alcătuirea „instrucțiunilor" pentru lucrări, nu trebuie scăpat din vedere *„calculul erorilor"* la fiecare lucrare care necesită aceasta. Considerînd că conducătorul lucrărilor a prezentat studenților teoria referitoare la calculul erorilor, *instrucțiunile* vor cuprinde numai *formula*, urmărindu-se ca în timpul lucrului studenții să-și formeze deprinderi corecte de a măsura, să li se atragă atenția asupra rezultatelor măsurătorilor care nu corespund realității — diferențele dintre valorile reale și cele rezultate din măsurătoare constituind *erorile*. Conducătorul lucrărilor de laborator, trebuie să stăruie ca studenții să-și formeze în același timp *deprinderea* de a observa și de a citi corect indicațiile (scalele) aparatelor, ținînd seama că *observarea* și *citirea corectă* la aparate duc la micșorarea erorilor accidentale în măsurători.

Instrucțiunile lucrărilor întocmite cît mai judicios atît în ceea ce privește baza teoretică a lucrării cît și modul de lucru, trebuie să fie redactate la un nivel corespunzător spre a servi drept model pentru studenți la efectuarea lucrării și întocmirea referatului.

Bineînțeles că nu dăm rețete pentru asemenea instrucțiuni, referatul lucrării de laborator trebuie adaptat la specificul lucrărilor practice ale fiecărei discipline.

Vom prezenta exemplificativ un model de referat care cuprinde instrucțiunile referitoare la lucrarea de electronică. „Studiul emisiei termoelectronice".

Lucrarea nr. 1

I. *Temă Emisiunea termoelectronică*

II. *Scopul lucrării* : Studiul emisiunii electronice a termocatodelor și determinarea caracteristicilor și parametrilor unui termocatod.

III. *Considerațiuni teoretice.* Emisia de electroni de către metale și compușii metalici provocată prin încălzirea lor se numește *emisiune termoelectronică* și stă la baza funcțiunării aproape a tuturor tuburilor electronice. O parte principală a oricărui tub electronic o constituie *catodul* — sursa de electroni.

Dacă emisia de electroni este provocată prin încălzire, catodul poartă denumirea de termocatod.

Pentru un termocatod dat, numărul de electroni emiși în unitatea de timp este funcție de temperatură.

Notînd cu : A — o constantă care depinde de natura metalului
T — temperatura absolută (°K)
eU_e — lucrul de extracție
K — constanta lui Boltzman

dependența curentului de emisie de temeperatură poate fi exprimată, pentru un metal omogen pur, prin relația :

$$J_e = A \cdot T^2 e^{-\frac{eUe}{KT}} \tag{1}$$

sau :

$$J_e = A \cdot T^2 e^{-\frac{b_0}{T}}$$

unde : J_e reprezintă densitatea curentului de emisie (emisia specifică) iar $b_0 = \frac{eUe}{K}$ Dacă S_c este suprafața activă a catodului, atunci $J_e = \frac{I_e}{S_c}$ unde I_e este intensitatea curentului de emisie relația de mai sus poate fi scrisă și astfel :

$$I_e = S_c \cdot A \cdot T^2 e^{-\frac{b_0}{T}} \tag{2}$$

Relația (2) pusă sub forma $I_e = f(T)$ (3) se numește *caracteristica de emisie a catodului.* Ridicînd grafic această funcție, se poate determina regimul de funcționare al catodului.

IV. *Metode utilizate în studiul experimental al emisiei termoelectronice.*

În condițiile obișnuite ale unui laborator, studiul emisiunii termoelectronice a diferitelor tipuri de catode se face în mod indirect, utilizînd tuburi cu doi electrozi (diode) cu diferite tipuri de catode.

Pentru măsurarea curentului de emisie se caută să se ajungă la saturația tubului. În această situație, curentul de emisie este aproximativ egal cu curentul de saturație.

$$I_e \approx I_s .$$

Măsurarea temperaturii se poate face cu ajutorul unui pirometru cu dispariția filamentului. Acest lucru nefiind posibil totdeauna și cum încălzirea catodei se face cu ajutorul curentului electric, temperatura catodei este funcție de tensiunea de încălzire U_f, sau de curentul de încălzire I_f. Ca urmare a acestui fapt, caracteristica de emisie a catodei unui tub electronic se pune în practică sub forma :

$$I_e = f(U_f)$$

sau

$$I_e = f(I_f)$$

Graficul acestei funcții arată ca în fig. 1. Se observă că această caracteristică nu începe din originea axelor de coordonate, ci de la o anumită valoare a tensiunii de încălzire pentru care numărul de termoelectroni este suficient pentru formarea unui curent de emisiune măsurabil. De la această valoare a tensiunii de încălzire, curentul de emisie crește rapid cu U_f adică cu temperatura catodului. De remarcat că starea de saturație se poate obține numai pentru catodele din metale pure. La catodele cu oxizi, la

temperatura normală de lucru, o tensiune anodică prea mare poate provoca distrugerea stratului emisiv.

Parametrul principal care determină valoarea tehnică a catodei este *eficiența* și reprezintă raportul dintre curentul total de emisie termoelectronică și puterea consumată pentru încălzirea catodei la temperatura de lucru.

$$H = \frac{I_e}{P_f}\left(\frac{mA}{W}\right) \tag{5}$$

În afara fenomenului principal urmărit în studiul emisiunii termoelectronice se manifestă și o serie de fenomene secundare, care se suprapun

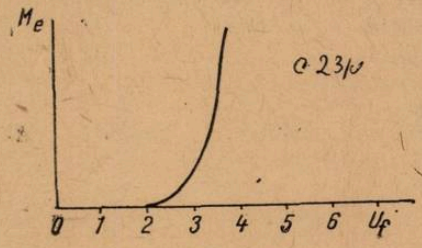


Fig- 1

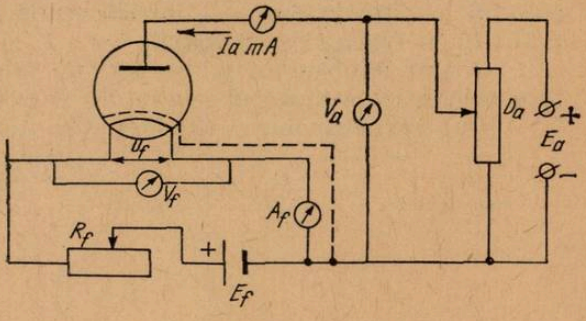


Fig. 2

fenomenului principal și de efectele cărora nu se poate ține seama decît în mod calitativ. Dintre aceste fenomene fac parte :

— *neuniformitatea temperaturii* de-a lungul catodei în special la catodele cu încălzire directă.

— *contribuția inegală* a diferitelor părți ale catodei la curentul anodic, datorită neuniformității cîmpului electric la suprafața ei ; fenomenul se manifestă puternic la catodele cu încălzire directă ;

— electronii cu viteze inițiale, emiși de catodă, care fac ca curentul anodic să fie diferit de zero cînd $U_a = 0$.

Datorită acestor fenomene complexe, curentul de saturație nu este în general o mărime constantă și din această cauză se consideră curent de saturație, curentul anodic corespunzător unei tensiuni anodice pentru care sarcina spațială din jurul catodului este practic nulă pentru toate temperaturile (respectiv toate tensiunile de încălzire) la care se studiază catodul respectiv.

IV. *Montajul utilizat.*

Pentru studiul emisiei termoelectronice a catodelor se folosesc diode cu vid, cu încălzire directă și cu catode din metale neactivate, cît și cu acizi, pentru comparație. Se realizează un montaj ca în fig. 2 în care : *Ef* este sursa de încălzire, *Vf* voltmetrul pentru măsurarea tensiunii de încălzire, *Af* miliampermetrul pentru măsurarea curentului de încălzire *If*, E_a — sursa de tensiune anodică

V_A — voltmetrul pentru măsurarea tensiunii anodice, *mA* — miliampermetrul pentru măsurarea curentului anodic I_a și D_a — divizor de tensiune pentru tensiunea anodică. Se atrage atenția că în cazul încăl-

zirii în curent continuu, instrumentul de măsură a curentului trebuie montat neapărat în ramura negativă, pentru o măsurare corectă. În cazul tulburărilor cu încălzire indirectă, filamentul este alimentat în curent alternativ, catodul legîndu-se la minusul de tensiune anodică (vezi linia punctată din fig. 2)

V. *Desfășurarea lucrărilor și prelucrarea rezultatelor*

1. Se realizează montajul pentru ridicarea caracteristicilor de emisie ale unui catod cu încălzire directă, neactivat.

2. Se determină valoarea tensiunii de saturație pentru încălzirea normală a catodului și, menținînd constantă această tensiune, se încălzește catodul la diferite tensiuni, inferioare tensiunii normale de încălzire. Se măsoară în fiecare caz mărimile : u_f, I_z și $I_e \approx I_0$.

3. Datele obținute se trec într-un tabel, ca cel de mai jos, complectînd coloanele cu ajutorul relației (5) și a relației $P_f = U_p \cdot I_f$.

Date experimentale caracteristice diodei :

Nr. experienței	*Uf* V	*If* (m A)	*Pf* (W)	*Ie* (m A)	*H* (mA/W)

4. Pe baza datelor experimentale se trasează caracteristica de emisie $I_e = f(U_f)$ și caracteristica de încălzire $I_f = f_1(U_f)$, explicîndu-se formele curbelor obținute.

5. Se trasează graficul de variație a *eficienței* în funcție de încălzirea catodului.

6. Se înlocuiește tubul cu încălzire directă printr-un tub cu încălzire indirectă și se determină eficiența lui pentru o tensiune de încălzire egală cu tensiunea normală a tubului anterior, comparîndu-se rezultatele.

★

Conducătorul lucrărilor, asistent sau lector, are rolul de a asigura bunul mers al lucrărilor. În prima ședință de lucrări, la începutul anului, dă explicații în legătură cu modul în care trebuie să se desfășoare lucrarea. Pentru lucrările de electricitate și cele de radio și electronică se indică desfășurarea lucrării după următoarele puncte :

— Alegerea aparatelor cu caracteristici tehnice corespunzătoare.

— Realizarea montajului conform schemei indicate.

— Așezarea aparatelor de măsură, dispozitivelor de reglaj, dispozitivelor auxiliare și surselor de tensiune să fie astfel făcută încît schema să fie cît mai simplă, citirea rezultatelor comodă și să înlăture deplasările inutile. Aparatele care sînt supuse influenței cîmpurilor exterioare să fie așezate astfel încît să introducă minimum de erori.

— Executarea circuitelor electrice simplu și direct, alegînd conductoare de lungime corespunzătoare. Circuitele principale (serie) se cer să fie efectuate cu conductoare mai groase, de aceeași culoare, iar cele în derivație cu conductoare de altă culoare și mai subțiri, executîndu-se mai întîi circuitul pruncipal.

— Executarea montajului se începe de la bornă a sursei de alimentare și se termină la cealaltă bornă.

— După executarea montajului se face verificarea lui de către grupa de studenți. Se verifică : circuitul principal, circuitele secundare, apărute de măsură, reostatele și dispozitivele de întrerupere. Dacă montajul este bun, cu avizul celui care conduce lucrările, se începe efectuarea experiențelor.

— În momentul aplicării tensiunii se cere ca experimentatorul să fie foarte atent la indicațiile aparatelor de măsură, dacă nu indică suprasarcini și nu e vreunul conectat invers în care caz se deconectează imediat sursa și se fac modificările necesare.

— După înlăturarea defectelor observate se aplică din nou tensiunea pe montaj, se stabilește regimul de lucru necesar. Urmează după aceea măsurătorile propriu-zise, notîndu-se și indicațiile aparatelor chiar în momentul citirii.

Cel care conduce lucrările urmărește îndeaproape respectarea acestor îndrumări, intervenind acolo unde este necesar.

După ce s-a efectuat lucrarea, dacă ea a decurs mulțumitor, datele obținute sînt prezentate asistentului sau lectorului conducător care, după ce le examinează își dă aprobarea pentru terminarea lucrării sau dispune refacerea ei.

O dată terminată o lucrare studenții sînt obligați să desfacă toate conexiunile, să așeze aparatele în ordine și stare de curățenie, avînd grijă să strîngă bornele complet.

Cel care conduce desfășurarea lucrărilor are de asemenea grijă să se respecte cu stricteță regulile de tehnica securității pentru prevenirea accidentelor.

— Indicații privitoare la întocmirea referatului :

După terminarea lucrării fiecare student întocmește un scurt referat care trebuie să cuprindă ca date principale :

— denumirea lucrării
— scopul efectuării lucrării
— descrierea montajului — schițarea lui.
— problemele studiate
— descrierea rezumativă a modului de lucru
— tabele de rezultate și calcul
— reprezentările grafice
— concluzii asupra lucrării efectuate

Acest referat este apoi prezentat conducătorului lucrărilor care îl examinează și fac observațiile necesare și apreciază lucrarea.

Cu aceste referate fiecare student își întocmește un dosar care rămîne în laborator și care se dă studentului la sfîrșitul anului, după promovare.

Aceeași grijă se manifestă și în organizarea și îndrumarea lucrărilor practice de laborator din cadrul „experiențelor didactice" unde se efectuează experiențele prevăzute de programa de fizică a școlii generale pentru cl. VI — VIII.

În cadrul acestor lucrări studenții execută în mod independent toate experiențele prevăzute în manual, familiarizîndu-se cu metodica desfășurării lor, învățînd să confecționeze material didactic, atunci cînd nu-l au la îndemînă.

Ordinea lucrărilor și numărul lor cum și bibliografia se comunică studenților de către metodicianul care conduce aceste lucrări, aceștia primind indicații și asupra modului de întocmire a referatului.

Bibliografia se studiează înainte de lucrări, în laborator studentul efectuînd experiențele, notînd observațiile, rezultatele măsurătorilor.

Lucrările se termină cu 15 minute înainte de sfîrșitul programului în care timp se fac discuții conduse de metodicianul respectiv și se scoate în relief esențialul experiențelor, fenomenele observate, apoi metodica experiențelor, accentuînd asupra dificultăților ce pot apărea în timpul demonstrațiilor la clasă și modul cum pot fi învinse.

Sîntem convinși că procedînd în mod metodic în organizarea și conducerea lucrărilor de laborator, pregătindu-se temeinic și permanent, vom reuși să obținem rezultate bune în pregătirea studenților noștri, care trebuie să fie conștienți de faptul că cu ajutorul lucrărilor de laborator ei vor putea pătrunde în problemele concrete ale muncii didactice pentru care se pregătesc însușindu-și priceperi și deprinderile necesare viitorului profesor la catedră.

ORGANIZAREA ȘI DOTAREA LABORATOARELOR DE FIZICĂ ȘI CHIMIE ALE LICEULUI 42 – BUCUREȘTI –

prof. *CORNELIA GHEORGHIU*

Conceptul de modernizare a devenit astăzi simbolul eforturilor novatoare ale direcțiilor de progres în învățămînt ca în întregul sistem de organizare al producției materiale și spirituale.

Preocuparea pentru modernizare vizează nu numai conținutul științific și latura educativă a procesului de învățămînt ci și metodele și mijloacele de instruire, laboratoarele ocupînd un loc principal în această orientare.

În materialul de față vom prezenta modul în care laboratoarele unei școli executate și dotate după proect tip au fost adaptate la necesitățile actuale ale procesului de învățămînt considerînd că experiența acumulată în această direcție poate servi ca inspirație și altor cadre didactice animate de dorința îmbunătățirii condițiilor de desfășurare a predării fizicii și chimiei, fără angajarea unor cheltuieli mari de capital.

Liceul nr. 42, din București, Sectorul 7, care constituie obiectul inițiativelor arătate în prezenta comunicare a fost construit acum 9 ani făcînd parte din categoria construcțiilor tip de acest gen și avînd în componența sa cîte un laborator de fizică și unul de chimie fiecare reprezentat de o sală principală și o cameră anexă. Mobilierul de inventar al fiecăreia din aceste laboratoare cuprindea cîte 18 mese din plăci aglomerate din lemn cu scaunele respective, cu deosebirea că mesele din laboratorul de chimie erau prevăzute cu niște etajere de lemn pe cît de inestetic pe atît de puțin practice.

Pentru crearea atmosferei științifice și de lucru care trebuie să caracterizeze un laborator menit să sprijine predarea și însușirea fizicii, respectiv chimiei, nu era de reținut aproape nimic.

După nouă ani de utilizare, mobilirul celor 2 laboratoare și în special acel de chimie care păstra urmele reactivilor folosit la lecții, se prezintă într-o stare de înaintată uzură.

Odată cu numirea în funcție de directoare adjunctă a Liceului 42 în toamna anului 1965, mi-am propus și apoi realizat în perioada martie-

1966 — martie 1967 o serie de amenajări în măsură a apropia cele două laboratoare de cerințele moderne ale procesului de învățămînt și a le conferi o dublă funcție: aceia de sală de curs și lucrări de laborator.

Trebuie aici să fac precizarea că Liceul nr. 42 fiind școală experimentală a M.I. nu are decît 2 clase paralele IX—XI, iar prima împărțire a cursurilor între dimineață și după amiază și întocmirea judicioasă a orarului a fost posibil ca toate orele de fizică și chimie să se desfășoare în laborator.

Revenind la amenajările mai sus amintite, într-o primă categorie se înscrie aranjarea și fixarea celor 15 mese ale fiecărui laborator pe trei laturi ale unui dreptunghi, a patra latură fiind ocupată de masa pentru demonstrațiile experimentale, ceea ce asigură o bună vizibilitate pentru toți elevii, indiferent de poziția pe care o ocupă în laborator.

Pentru a îmbina frumosul cu utilul fiecare dintre mese ca și catedra au fost îmbrăcate într-un material de protecție și ornament în același timp.

În laboratorul de fizică acestea au fost acoperite cu plăci melaminate, iar în laboratorul de chimie cu plăcuțe ceramice colorate și aranjate în diverse modele cu subiecte din chimie sau din tehnologia chimică. Astfel mozaicul meselor din laboratorul de chimie reprezintă diferențiat, după așezarea acestora pe cele 3 laturi ale dreptunghiului, instalații industriale, instalații de laborator și formule chimice. Catedra placată cu același material reprezintă un furnal cu cowper.

Utilul soluției de îmbrăcare a maselor constă în protejarea acestora de acțiunea agenților chimici ceeace explică și folosirea diferită a materialelor de protecție în laboratorul de chimie și fizică. În plus modelele din laboratorul de chimie contribuie la crearea atmosferei specifice de lucru și constituie un mijloc de fixare a cunoștințelor prin observarea lor repetată de către elevi.

Pentru a răspunde și cerințelor impuse de lucrările de laborator fiecare dintre aceste mese a fost dotată corespunzător diferențiat însă pentru laboratorul de fizică și chimie.

Astfel fiecare masă din laboratorul de fizică a fost înzestrată cu două prize și două lămpi cu abajur. Prizele pot primi de la tabloul de distribuție aflat la catedră curent electric cntinuu și respectiv alternativ la tensiunile nepericuloase de 4, 8 și 12 volți, iar lămpile de sub abajur curent alternativ la tensiunea de 24 volți.

În aceste condiții elevii au pe deoparte posibilitatea să efectueze lucrările de electricitate, iar pe de altă parte folosind lămpile sub abajur să-și continue activitatea de înregistrare a explicațiilor cînd laboratorul este în întuneric pentru lucrările de optică sau proiecție.

În laboratorul de chimie fiecare masă este prevăzută cu policioară de plexiglas astfel dispusă încît materialele necesare pentru lucrările ce urmează a fi efectuate de două clase diferite ce se succed la laborator, să poată fi pregătite de mai înainte. Aceasta asigură continuitatea fără perturbări a activității în laborator, fiindcă în cele 10 minute care sînt afectate recreației nu este posibilă schimbarea materialelor de la o clasă la alta.

Pornind de la considerentul că un laborator trebuie să fie expresia curățeniei, ordinei și bunului gust, iar întreaga lui concepție să-i introducă pe frecvenții săi în atmosfera de studiu a obiectului pe care-l servește, o serie de măsuri au fost aplicate tocmai în aceste scopuri. Astfel în labo-

ratorul de fizică soclul pereților și scaunele au fost îmbrăcate în melamină, iar imaginile unor instrumente optice de mare precizie și o hartă a RSR cu indicarea luminoasă a poziției celor mai importante termo și hidrocentrale împodobesc pereții.

În laboratorul de chimie, pentru uniformitate în folosirea materialelor de placare și pentru diversitate în raport cu laboratorul de fizică, pereții au fost îmbrăcați în partea inferioară cu placaj ceramic, partea rămasă liberă constituind sediul unor importante materiale didactice ca de exemplu:

— Tabelul lui Mendeleev reprezentat pe sticlă mată, colorată și luminată.

— Tabelul demontabil al clasificării elementelor pt. redarea formei scurte și lungi a sistemului periodic.

— Trei panouri luminoase cu cele trei tipuri de legături chimice.

— Două hărți cu cele mai importante centre ale industriei chimice și cu bogățiile subterane ale țării noastre.

— Nouă imagini ale instalațiilor industriale ale marelui combinat chimic de la Borzești.

— Satisfacerea cerințelor la care trebuie să răspundă cele două laboratoare a impus înzestrarea lor cu un ansamblu de instalații tehnico-sanitare și electrice.

Laboratorul de fizică a fost dotat cu un tablou de distribuție electric, așezat pe un panou de marmoră, care cuprinde:

— Ampermetru și volmetru de curent continuu
— Ampermetru și volmetru de curent alternativ
— Inversor de curent
— Întrerupătoarele circuitelor celor 3 laturi ale dreptunghiului în care sînt așezate mesele și
— siguranțele corespunzătoare.

Din instalația electrică a lab. de fizică face parte și un transformator cu 4 ieșiri 24—12—8—4 V care alimentează prizele de la masele de lucru ale elevilor. Deși montat în camera anexă pentru a nu stînjeni prin zgomotul său specific buna desfășurare a orelor, el poate fi pus în funcțiune din laborator printr-un dispozitiv special.

Redresorul cu 3 ieșiri 12—8 și 4 V pentru alimentarea acelorași prize indicate mai sus cu curent continuu, așezat sub tabloul de distribuție, completează instalația electrică din laborator.

Catedra este prevăzută cu 4 prize pentru 220 și 110 volți curent alternativ, 4—8—12 volți curent alternativ și continuu.

În laboratorul de chimie instalațiile tehnice — sanitare și electrice sînt reprezentate prin 5 guri de apă chiuvete de faianță, 8 prize electrice și nișa pentru experiențele demonstrative cu substanțe toxice.

Deoarece într-un laborator de chimie instalațiile de încălzire sînt la fel de indispensabile ca cele de apă, la catedră au fost montate 4 guri de gaz continuate cu becuri Teclu.

Pentru îndeplinirea tuturor funcțiilor lor, ambele laboratoare au fost înzestrate și cu ecrane pentru proiecție fixate pe rulouri cu arc, ușor manevrabile montate deasupra tablei.

Fiecare dintre cele 2 laboratoare are o cameră anexă care servește la depozitarea materialelor, pregătirea experiențelor și efectuarea micilor reparații.

Sala anexă a lab. de chimie a fost completată cu rafturi pe care au fost aranjate flacoanele cu substanţe şi un dulap vitrină în care sînt adăpostite flacoanele cu soluţiile necesare lucrărilor frontale. Pentru a asigura o stabilitate mai mare a flacoanelor cu reactivi, sertarele au fost compartimentate printr-un grătar de carton.

Am urmărit că ambele anexe să se încadreze în atmosfera de ordine şi curăţenie care domneşte în laboratoare. În această ambiaţă proprie de lucru au fost plasate mici biblioteci cuprinzînd reviste de fizică şi chimie, cursuri de chimie şi fizică generală, manuale, metodici, cărţi de probleme şi lucrări de laborator instrucţiuni pentru folosirea materialului didactic, care servesc tovarăşilor profesori de specialitate pentru studiul individual.

Deoarece în laboratoare sînt instalaţii electrice şi de gaze, articole de inventar care nu pot rămîne la discreţia curioşilor cînd nu au loc lecţii, ambele anexe au fost prevăzute cu instlaţii avertizoare optice şi acustice care intră în acţiune oridecîte ori uşa de la laborator se descide. Sistemul de semnalizare cuprinde un circuit electric cu un vibrator, 2 becuri montate în camera anexă şi un întreruător simplu fixat chiar pe tocul uşii din laborator. Deschiderea uşii, închide circuitul punîd în funcţiune sistemul de avertizare, dînd astfel de veste tov. laborante că un oaspete a păşit pragul laboratorului.

Organizarea unui laborator este una din etapele importante în realizarea unui obiectiv de acest gen, dar nu singura, dotarea şi folosirea lui fiind etapele următoare ale acestui preţios auxiliar al procesului de învăţămînt.

După practica obişnuită dotarea cu material didactic a laboratoarelor şcolare se realiza pînă acum de către secţiile de învăţămînt a raionului, după cataloagele de comandă ale şcolilor, folosind produsele IMD în limita sumei planificată de secţia financiară raională pentru şcoala respectivă.

Cum aceste sume sînt în general mici în cazul şcolii cca. 8.000 lei pe anul 1967—1968 pentru materialele didactice ale tuturor obiectelor de studiu, iar trusele pentru lucrările de fizică şi chimie variază între 1200—2500 lei, m-am orientat către valorificarea unor posibilităţi interne care să contribuie la completarea dotării laboratoarelor realizată din buget.

Exceptînd materialele didactice mai complicate a căror preocupare nu se poate realiza decît de la IMD, pentru restul s-a apelat la atelierele şcolii şi elevi, la unii părinţi, la sprijinul unor întreprinderi din Bucureşti.

Pe baza unui program de lucru elaborat din timp au fost executate în atelierele şcolii pendule fizice şi electrice, pirometre cu cadran, scripeţi, pîrghii, cadre universale, planuri înclinate, tribometre, discuri ale momentelor, în număr suficient de mare pentru ca la fiecare dintre mesele de laborator să se afle cîte un exemplar care să permită efectuarea lucrărilor pe grupe de 2—3 elevi.

Apelînd la elevii talentaţi ai şcolii a fost posibilă realizarea hărţilor cu însemne luminoase a celor trei panouri cu legăturile chimice şi a celor două sisteme de clasificare a elementelor despre care am vorbit mai înainte şi care completează materialul didactic al laboratorului.

Îmi permit în continuare să prezint şi cîteva amănunte de construcţie a unor materiale executate în şcoală şi care poate servi drept bază de discuţie pentru ca sistemele concepute iniţial să fie îmbunătăţite.

Astfel sistemul periodic al elementelor l-am realizat după cum a rezultat și din materialul prezentat anterior, pe sticlă mată pentru a putea fi iluminat. Elementul nou adus este colorarea în nuanțe a căror intensitate scade sau crește atît în grupe cît și în perioade în funcție de caracterul elementelor. Asocierea imaginii vizuale la senzația auditivă mărește capacitatea de înțelegere și reținere a elevilor față de noțiunile transmise.

Pentru și în cadrul activității din cercurile de elevi a fost realizat un sistem de reprezentare a diferitelor tipuri de clasificări ale elementelor (forma scurtă și lungă) cu plăcuțe mobile din lemn. Acest sistem este confecționat dintr-o foaie de placaj pe care s-au trasat pe un fond alb linii negre orizontale și verticale împărțind astfel întreaga suprafață în căsuțe pătrate. În fiecare compartiment s-au executat două orificii cu diametrul de 3 mm.; separat s-au tăiat tot din placaj 127 plăcuțe de forma unor pătrate cu dimensiunile căsuțelor de pe panou. Pe 104 din aceste piese s-au scris simbolurile elementelor, numărul lor atomic, masa atomică și numărul electronilor de pe fiecare strat. Pe celelalte plăcuțe s-au scris numerele corespunzătoare perioadelor și grupelor din sistemul periodic.

Pe partea opusă a fiecărei plăcuțe s-au fixat două cepuri cu diametrul corespunzător orificiilor de pe panou. În felul acesta am realizat un dispozitiv cu care profesorii și elevii pot demonstra diferite tipuri de clasificare a elementelor începînd cu primele forme utilizate de Mendeleev și terminînd cu forma lungă folosită în prezent în mod curent în străinătate, doar prin simplă fixare a plăcuțelor pe panou cu ajutorul celor două cepuri.

Colaborarea strînsă dintre școală și familie a constituit un alt factor la care am apelat în scopul măririi patrimoniului școlii în general și al laboratoarelor în special.

Solicitînd sprijinul unor părinți, am obținut aprobarea confecționării în atelierele respectivelor întreprinderi a unor aparate de fizică cu materialul și după documentația noastră. Astfel de exemplu în atelierele Întreprinderii „Danubiana" au fost realizate 15 refractometre Müller, 8 calorimetre, 5 areometre Nicholson și altele.

Solicitarea sprijinului unor întreprinderi furnizoare de material pentru laborator și-a găsit deasemenea un frumos ecou la întreprinderea „Eprubeta". La cererea conducerii școlii întreprinderea „Eprubeta" ne-a pus gratuit la dispoziție o mare cantitate de sticlărie de laborator: flacoane cotate, refrigerente, sticle și borcănele albe și brune, eprubete, pîlnii etc...., respinse de la clasa zero de precizie, dar clasificate valabile pentru uz didactic.

Cu sprijinul facultății de chimie și universității care a fost întotdeauna aproape de nevoile școlii noastre, laboratorul de chimie a fost alimentat cu acele substanțe care se găsesc mai greu în comerț sau la întrepr. Reactivul, care are obligația onorării comenzilor noastre pentru substanțe chimice.

Astfel lab. de chimie la ora actuală dispune de toate substanțele necesare atît experiențelor demonstrative cît și a celor frontale precum și de sticlăria necesară în acest scop.

Înainte de a încheia prezenta comunicare ceeace vreau să accentuez dacă acest lucru nu a reieșit suficient de pregnant din expunerea făcută, ca o concluzie și recomandare este folosirea pe o scară cît mai largă a principiului „prin noi înșine".

În activitatea de înfrumusețare și dotare a laboratoarelor a fost antrenat, după planul întocmit de conducerea școlii, personalul atelierelor de tîmplărie și lăcătușerie, mecanicii și laboranta școlii, profesorii de fizică și chimie, elevii talentați și îndemînatici.

Această largă mobilizare a permis realizarea unui mare volum de lucrări cu cheltuieli minime, manopera, care are ponderea cea mai mare în realizarea unor astfel de lucrări fiind preluată de personalul școlii

Prezentarea făcută mai înainte, străină de orice intenție de exagerare, departe de a constitui o simplă înșiruire de realizări a urmărit să evidențieze ideea de care este animat colectivul de profesori a liceului 42, conducerea școlii, aceea de a asigura desfășurarea procesului de învățămînt pe o treaptă superioară, modernă.

Indiferent de modul în care aceste realizări ar fi privite și aprecierea care li se va atribui, ceea ce trebuie de reținut este faptul că și cea mai umilă dintre realizările prezentate ascinde în ea o muncă investită, un efort intelectual și fizic, un consum nervos, toate puse în slujba aceluiași scop, creșterea nivelului calitativ al învățămîntului din țara noastră.

DETERMINAREA MĂRIMILOR TERMOELECTRICE LA METALE

A. MATEI și C. RUSU Oradea

Proprietățile electrice ale conductoarelor pot fi studiate aplicînd mai multe metode. De obicei se studiază comportarea unui metal cînd este străbătut de un curent electric, menținînd temperatura constantă, sau aplicînd un gradient de temperatură în absența curentului electric. Se pot însă studia proprietățile electrice ale metalelor aplicînd concomitent un gradient de temperatură și un curent electric. Dacă la capetele unui conductor se creează o diferență de potențial, în acel conductor apare un curent electric, iar conductivitatea electrică a conductorului (σ) va fi dată de raportul densității de curent (δ) și intensitatea cîmpului electric creat E, adică

$$\sigma = \frac{\delta}{E} \tag{1}$$

Aplicînd un gradient de temperatură conductorului, în absența curentului electric, putem măsura conductivitatea termică (K) a conductorului care reprezintă cantitatea de căldură ce trece prin unitatea de secțiune, în unitatea de timp sub un gradient de temperatură egal cu unitatea.

$$K = \frac{\Delta Q}{S \cdot \Delta t \cdot \Delta T} \tag{2}$$

Considerînd doi conductori eterogeni într-un circuit închis avînd între suduri o diferență de temperatură, fără existența unui cîmp electric, în acesta apare, pe lîngă o scurgere de energie termică, și un curent electric numit curent termoelectric. Fenomenul a fost observat prima dată de

către Seebeck în anul 1822 Mărimea curentului (ΔE) care rezultă depinde de diferența de temperatură (ΔT) și de natura materialului întrebuințat :

$$\Delta E = \alpha_{12} \Delta T \tag{3}$$

unde : α_{12} este coeficientului forței electromotoare între conductorii dați pentru 1°C.

Dacă în circuitul format de cele două metale facem să treacă un curent electric, în prezența unui gradient de temperatură, vom constata că la o sudură, pe lîngă căldura Joule (proporțională cu pătratul intensității) se mai degaje sau se absoarbe o cantitate de căldură (ΔQ_p) proporțională cu intensitatea curentului (ΔI) și care depinde de sensul de trecere al curentului electric

$$\Delta Q_p = \pi_{12} \Delta I \tag{4}$$

unde π_{12} este coeficientul Peltier (denumire dată în cinstea celui care a observat pentru prima dată acest efect în anul 1834) care reprezintă căldura dezvoltată în unitatea de timp la trecerea unității de curent. Căldura Peltier π_{12} depinde de temperatura comună de la sudura celor două conductoare.

Pentru a pune în evidență efectul Peltier trebuie să lucrăm cu mare atenție deoarece aici apare căldura ireversibilă mai mare, dată de efectul Joule, care apare în toți conductorii (excepție făcînd supraconductorii) cînd prin ei trece un curent electric. Căldura Joule apare întotdeauna indiferent de sensul curentului în substanță, este o mărime ireversibilă și deci se consideră întotdeauna pozitivă.

Faptul că, căldura Peltier depinde liniar de mărimile arătate mai sus, înseamnă că în acest sens, cel puțin, este un fenomen reversibil spre deosebire de căldura Joule.

Înafară de căldura Peltier, degajată sau absorbită la contactele a doi conductori diferiți, la trecerea curentului, în interiorul fiecărui conductor în care există un gradient de temperatură, se degajă sau se absoarbe căldura (ΔQ_T) proporțională cu gradientul de temperatură $\left(\frac{\Delta T}{\Delta X}\right)$ și cu intensitatea curentului ΔI (înafară de căldura Joule). Acest fenomen legat de proprietățile termoelectrice ale conductorului se numește efect Thomson (descoperit în anul 1857 de către J.J. Thomson) Deci :

$$\Delta Q_T = \tau \Delta I \frac{\Delta T}{\Delta X} \Delta V \tag{5}$$

unde τ este căldura Thomson, care reprezintă căldura degajată sau absorbită în unitatea de volum a metalului sub un gradient de temperatură egal cu unitatea, la trecerea unității de curent. ΔV este elementul de volum din acel conductor.

Efectele Seebeck, Peltier și Thomson au fost determinate experimental și caracterizează proprietățile termoelectrice ale materialelor.

Între fenomenele amintite mai sus există o anumită legătură cantitativă care decurge din bazele termodinamicii proceselor reversibile.

Spre deosebire de căldura Joule, complet ireversibilă, degajată de curent independent de direcția sa, toate efectele termoelectrice își schimbă semnul odată cu schimbarea sensului curentului. Ele fac parte din feno-

menele reversibile, şi dacă fenomenele termoelectrice n-ar fi însoţite de o degajare ireversibilă, inevitabilă, de căldură Joule şi de o conductivitate termică în ramurile termoelementului, ramuri care leagă sudurile caldă cu cea rece, atunci cu ajutorul termoelementului am putea obţine o energie electrică din cea termică cu cel mai mare randament

$$\eta = \frac{T_1 - T_0}{T_1} \tag{6}$$

unde T_1 şi T_0 sînt temperaturile absolute ale celor două contacte ale circuitului de curent.

În realitate însă, procesele ireversibile, suplimentare, în special transportul de căldură de la contactul cald la cel rece, micşorează atît de mult folosirea diferenţei de temperatură, în cît randamentul real nu depăşeşte de obicei cîteva fracţiuni de procent. Din acest motiv, pînă nu de mult curenţii termoelectrici au fost folosiţi aproape numai pentru măsurători ca un mijloc comod de măsurare a diferenţei de temperatură.

Studiul semiconductoarelor schimbă în mod radical rolul fenomenelor termoelectrice. Termoelementele din materiale semiconductoare posedă proprietăţi termoelectrice ridicate; ele pot să dea randamente relativ mari în ce priveşte folosirea energiei termice şi pot crea diferenţe de temperatură însemnate. De aceea termoelementele din materiale semiconductoare capătă o importanţă practică nu numai pentru scopuri de măsurători ci şi pentru cele energetice.

Pentru a determina relaţiile între efectele termoelectrice amintite vom examina relaţiile energetice care există într-un circuit format din doi conductori diferiţi.

Vom admite că putem neglija procesele ireversibile în acest circuit. În ce priveşte căldura Joule, această ipoteză este cu atît mai apropiată de realitate, cu cît, intensitatea curentului este mai mică, deoarece toate efectele termoelectrice sînt proporţionale cu puterea întîi a intensităţii curentului, în timp ce căldura degajată de curent este proporţională cu pătratul intensităţii curentului.

Dacă căldura Joule poate fi neglijată pentru curenţi mici, nu acelaşi lucru se poate spune despre conductivitatea termică, deoarece transportul de curent electric este direct legat de transportul de căldură de la sudura caldă la cea rece.

Se pot totuşi calcula procesele termoelectrice, separînd pe cele reversibile de cele ireversibile, deoarece, astfel rezultatele obţinute dau o bună coincidenţă cu cele experimentale.

În continuare vom examina fenomenele reversibile dintr-un circuit termoelectric, de unde vor rezulta relaţiile dintre efectele Seebeck, Peltier şi Thomson.

Să admitem că sudurile circuitului au temperaturile T şi T + dT, ceea ce determină în circuitul închis apariţia forţei termoelectromotoare (conf. ec. 3), şi un curent dI, care la rîndul său degaje în mod reversibil, în fiecare secundă, într-un element de conductor căldura Thomson (conf. rel. 5) pozitivă atunci cînd direcţia curentului coincide cu direcţia gradientului de temperatură şi negativă atunci cînd aceste direcţii sînt de sens contrar.

În punctele de contact se va degaja sau se va absorbi căldura Peltier (conf. rel. 4) al cărei semn este contrar sensului fluxului termic produs de curentul termoelectric.

Suma algebrică a tuturor cantităților de căldură absorbite de circuitul închis al termoelementului trebuie să fie egală cu energia electrică degajată

$$(\pi + \frac{d\pi}{dT} dT)\ dI - \pi dI + \tau_1 dI dT - \tau_2 dI dT = \alpha\ dI\ dT$$

sau :

$$\frac{d\pi}{dT} + \tau_1 - \tau_2 = \alpha \tag{7}$$

În același timp, al doilea principiu al termodinamicii, afirmă că pentru orice mașină reversibilă, care transformă energia termică în energie electrică, raportul dintre căldura absorbită la temperatură ridicată și căldura degajată la temperatură joasă trebuie să fie egal cu raportul temperaturilor absolute ale surselor

$$\frac{\pi + \frac{d\pi}{dT} dT + \tau_1 dT}{\pi + \tau_2 dT} = \frac{T + dT}{T} \tag{8}$$

Neglijînd termenul τdT^2 în comparație cu mărimile care conțin pe dT la puterea întîi vom obține

$$\frac{d\pi}{dT} - \frac{\pi}{T} + \tau_1 - \tau_2 = 0 \tag{9}$$

Substituind valoarea lui $\frac{d\pi}{dT}$ din (9) în (7) obținem :

$$\alpha = \frac{\pi}{T} \tag{10}$$

de unde

$$\pi = \alpha T \tag{10 a}$$

În relația (10) derivînd forța termoelectromotoare în raport cu temperatura se obține

$$\frac{d\pi}{dT} = \frac{T\frac{d\pi}{dT} - \pi}{T^2} = \frac{1}{T}\left(\frac{d\pi}{dT} - \frac{\pi}{T}\right)$$

mărimea din paranteză este egală conform relației (9) cu $\tau_1 - \tau_2$ de aceea

$$\frac{d\alpha}{dT} = \frac{1}{T}(\tau_1 - \tau_2) \tag{11}$$

Relațiile (10 a) și (11) se numesc relațiile lui Thomson și ele permit determinarea căldurii Peltier prin forța electromotoare și a căldurii Thomson prin derivata forței electromotoare în raport cu temperatura.

De aceea problema fundamentală în domeniul termoelectricității este calculul și măsurarea forței termoelectromotoare α, care apare la

contactele a două conductoare diferite pentru o diferență de temperatură dată. Experiența arată că forța electromotoare are un semn pozitiv la unele conductoare și negativ la altele (fig. 1.) Aceasta se explică prin aceea că la unele metale ca de exemplu wolfram, molibden, zinc, litiu, cesiu, etc., există un mecanism lacunar de transport al curentului, asemănător cu semiconductoarele de tip p. O altă serie de metale ca de exemplu : sodiu,

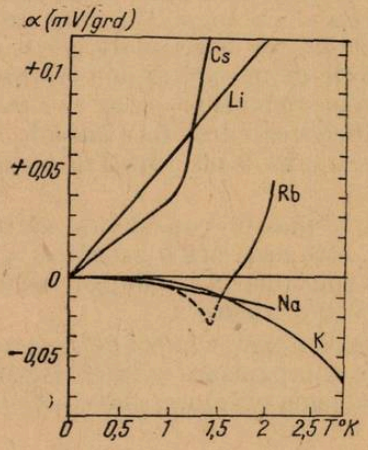


Fig. 1

potasiu trebuiesc considerate ca având o conductibilitatea pur electronică. Însă există și metale în care trebuie să admitem o conductibilitate mixtă cu participarea aproape egală a golurilor și a electronilor. Pentru aceste metale (plumb, staniu etc.) avem motive de a considera că α este apropiat de zero.

Din grafic rezultă că la Rb, α descreşte la început, atinge o valoare minimă în jurul temperaturii de 1,5°K, iar apoi creşte brusc cu temperatura trecînd la valori pozitive.

Cunoscînd valorile lui α în funcție de temperatura absolută T putem determina mărimile π și T din relațiile (10) și (11).

BIBLIOGRAFIE

[1] *D. K. C. Mac Donald:* Termoelectricity : an introduction to the principles. London 1962

[2] *A. F. Joffe* : Semiconductorii în fizica modernă (l. rusă)

Conf. dr. *C. CODREANU* asistent *T. VODA* asistent *O. POP* cat. Fizică, Inst. Politehnic Cluj

METODA DE CONTROL EXPRES ÎN ACTIVITATEA DE LABORATOR

Conf. dr. *C. Codreanu* asistent. *T. Vodă* asistent. *O, Pop*
cat. Fizică, Inst. Politehnic Cluj

Pentru efectuarea lucrărilor de laborator de către studenții școlarizați de catedra de Fizică de la Institutul politehnic Cluj sînt puse la dispoziție mijloace materiale și un buget de timp importante. În condițiile actuale, cu toate că dezvoltarea bazei materiale a catedrei este continuă, o mare parte din aparatele de măsură și de observație sînt folosite pentru lucrările de laborator ale studenților, ceea ce crează dificultăți serioase pentru cercetarea științifică a catedrei. La o cifră de 500 studenți școlarizați, pentru 30 ore de laborator în două semestre rezultă 15 000 ore student efectuate.

Pentru un student, luînd în considerare că în afara celor două ore consumate în laborator, este necesară o pregătire a lucrării și o prelucrare a datelor, operații care consumă în medie tot două ore, rezultă un buget de 60 ore anual, adică 10 zile a 6 ore.

În fața unui asemenea bilanț și în condițiile actuale create de tendința generală de raționalizare și organizare științifică a muncii se pune, în mod extrem de categoric, problema eficienței activității de laborator sub multiplele sale aspecte :

— 1. completarea și aprofundarea unor cunoștințe teoretice primite de la cursul de Fizică,

— 2. deprinderea metodicii experimentului și a analizei fizice.

— 3. însușirea metodicii complete de prelucrare și interpretare a datelor experimentale.

Corelația dintre curs și laborator se realizează cu totul necorespunzător, datorită faptului că laboratorul se desfășoară paralel cu cursul, în așa fel încît în sistemul actual, studentul execută prin rotație lucrările programate într-un semestru. Aceasta înseamnă o inversare a ordinei însușirii cunoștințelor, ceea ce se va putea remedia numai atunci cînd catedra va dispune de posibilitățile materiale necesare pentruca toată subgrupa de studenți că efectueze o aceeași lucrare montată în mai multe exemplare. Acest ideal deziderat nu se va realiza într-un viitor apropiat. Pentru a asigura deci buna desfășurare a lucrării practice studentul trebuie să se pregătească de sine stătător, folosind îndrumătorul de laborator sau alte surse de documentare. Avînd în vedere că multe din lucrările programate cer cunoștințe teoretice pe care școala medie nu le dă, pregătirea anterioară a fiecărui student, este cu atît mai mult o etapă obligatorie.

În aceste condiții apare absolut necesară convingerea pe care asistentul trebuie s-o aibă că fiecare student este pregătit teoretic pentru efectuarea și înțelegerea lucrării practice. Acest moment are conținutul și sensul unei verificări cît se poate de profunde și în același timp să fie sistematică și operativă.

Această verificare s-a făcut pînă acum cu metoda clasică și anume : controlul caetului de conspecte la toți studenții și verificări sumare a cunoștințelor, prin sondaj. Dacă pretindem un control complet a fiecărui student, bilanțul ar fi următorul : 5 minute pentru un student, 75 minute pentru cei 15 studenți ai unei semigrupe cît revin unui asistent, la un buget de 100 minute pentru o ședință de laborator. În practică însă, studenții începeau să efectueze lucrarea fără verificare, urmînd ca pe parcurs asistentul

să treacă la fiecare masă de lucru, pentru control și explicații suplimentare. Metoda nu era eficientă, nu putea fi sistematizată, se creau inegalități inerente în control, ceea ce avea și un aspect negativ în ceea ce privește deprinderea studenților cu un control permanent și ritmic.

În aceste condiții experimentarea unor metode netradiționale de verificare a pregătirii, care să elimine mai multe din deficiențele enumerate, apare ca o sarcină actuală în activitatea catedrei noastre.

Metoda de control și verificare trebuie să satisfacă următoarele cerințe :

1. Să asigure o verificare rapidă și în același timp completă.
2. Să se aplice în mod egal tuturor studenților semigrupei.
3. Să permită o apreciere cantitativă a pregătirii fiecărui student.
4. Să nu ducă la slăbirea legăturii vii dintre student și asistent.
5. Să furnizeze informații necesare pentru îmbunătățirea metodicii de laborator cum ar fi : conținutul teoretic al îndrumătorului de laborator, metodica experimentului și altele.

Catedra noastră a ales metoda controlului cu ajutorul unei *mașini electrice cu program*, metodă folosită, de altfel pe scară largă, în multe alte țări. Caracteristicile metodei sînt următoarele :

1. Pentru fiecare lucrare de laborator se stabilește un număr de 12—15 întrebări care sînt grupate în 5 variante care conțin cîte 5 întrebări. Variantele se deosebesc atît în ceea ce privește conținutul întrebărilor cît și în ordinea întrebărilor, în acele variante care conțin întrebări identice. Întrebările se referă la cunoștințele teoretice necesare, la unele particularități ale aparaturii folosite (inclusiv norme de tehnica securității) cît și la unele aspecte ale prelucrării datelor experimentale (erori), accentul punîndu-se însă pe cunoștințele teoretice. Întrebările se formulează pe baza textului din îndrumătorul de lucrări.

2. Pentru fiecare întrebare se propun 5 răspunsuri dintre care numai unul este corect. Celelalte 4 răspunsuri sînt fie incomplete, fie eronate. Studentul trebuie să indice răspunsul corect.

3. Fiecare student primește una din variantele — test a lucrării fiind obligat ca în 10 minute să formuleze răspunsul său, pe care-l consemnează pe o fișă tip de control.

4. Asistentul (sau laborantul) verifică fișa de control cu mașina programată în cca 15 secunde. În funcție de numărul de răspunsuri corecte se pot ivi multe situații :

— dacă studentul nu reușește să dea cel puțin 3 răspunsuri corecte, nu poate începe efectuarea lucrării decît după ce își revede conspectele, după care este supus din nou unui control, pe baza unei alte variante.

— dacă studentul îndeplinește baremul de admitere la lucrare i se indică răspunsurile incorecte urmînd ca să-și revadă conspectul sau îndrumătorul de laborator, pentru acele probleme neclare.

5. După începerea lucrării asistentul acordă asistență necesară mai întîi acelor studenți, care au dovedit o pregătire mai slabă.

6. Toate fișele de control din timpul semestrului sau anului se păstrează constituind o oglindă destul de completă a activității fiecărui student, care va întregi aprecierea finală de la colocviul de laborator și de la examenul propriu zis.

Pentruca eficiența metodei să poată fi apreciată este necesară o perioadă de cel puțin un an universitar, care să cuprindă întreg ciclul de pregătire. Din această cauză deocamdată nu deținem datele suficiente pentru o

concluzie. Experimentul este organizat diferențiat în sensul că la diferitele grupe de studenți se urmărește o anumită latură și anume : la unele grupe verificarea se face la începutul lucrării ; la alte grupe se face numai la sfîrșitul lucrării ; la alte grupe se face atît la început cît și la sfîrșit (pe variante diferite), iar unele grupe sînt grupe martor, unde controlul se face cu metoda veche. În acest fel se asigură posibilități multiple de apreciere și comparație, care ne vor servi la analiza finală și la îmbunătățirea metodei.

Din prezentarea făcută rezultă cu ușurință avantajele metodei asupra cărora nu mai insistăm. Subliniem numai în mod deosebit faptul că asigură ritmicizarea controlului aplicat tuturor studenților, ceea ce obligă pe student să se pregătească ritmic. Aceasta este unul din aspectele majore ale muncii în facultate.

Metoda nu este lipsită însă și de dezavantaje.

Însăși asupra metodei alegerii răspunsului corect, gata formulat, dintre mai multe răspunsuri propuse se pot exprima o serie de obiecțiuni care pot constitui subiecte de studiu și anume :

— deși la alegerea răspunsului corect, studentul execută o operație de gîndire care conține elemente active, de comparare, de asociații care fac ape la fondul de cunoștințe, faptul că nu este pus să formuleze singur răspunsul, reduce gradul de participare activă a studentului.

— pentru studenții cu o pregătire slabă, labilă și superficială, este posibil ca răspunsurile greșite propuse să inducă asociații greșite, care se pot fixa mai trainic în memorie, ceea ce constituie nu numai un bagaj parazit de cunoștințe dar chiar cunoștințe greșite, care pot avea efecte negative, directe și indirecte.

— deși probabilitatea de a răspunde corect din întîmplare este mică și anume 1/125, 1/625, 1/3125 pentru 3, 4 și 5 răspunsuri corecte, există totuși această posibilitate, care însă se poate reduce pe calea înmulțirii numărului de întrebări, ceea ce necesită reformularea redactării îndrumătorului. Pentru a înlătura posibilitatea preluării experienței de la o serie de studenți la alta programul mașinii se poate modifica semestrial sau anual.

Unele discipline din catedra noastră preconizează folosirea acestei metode expres de control, în viitorul apropiat, și la lucrările de control din timpul semestrului, precum și la examenul final, combinat cu teză scrisă.

Ca orișice experiment pedagogic și aceasta trebuie considerat cu prudență și rezervele corespunzătoare, cu atît mai mult cu cît face parte dintr-o problematică mult mai largă și anume a introducerii ciberneticii în procesul instructiv, cunoscută mai ales sub denumirea de învățămînt programat. Experiențele făcute în alte țări, la o scară largă, ajung la concluzii diferite, dar cel puțin două concluzii mai importante sînt aproape generalizate și anume : metodele învățămîntului programat, aplicate diferențiat și științific, reprezintă o cale eficace de organizare științifică și îmbunătățire a procesului instructiv-educativ, pe de o parte, și — aceste metode nu pot fi introduse și aplicate în mod independent de o serie întreagă de alte măsuri de ansamblu care să concureze la ridicarea calității și eficienței activității din școală, indiferent de gradul ei, pe de altă parte.

UNELE ASPECTE PRIVIND MODUL DE ORGANIZARE ȘI DESFĂȘURARE A LUCRĂRILOR PRACTICE DE FIZICĂ LA LICEU

prof. *Vodă Teodor* și *Cosma Margareta* Lic. „Emil Racoviță"—Cluj

În „Studiul privind dezvoltarea învățămîntului de cultură generală" se arată : „Ridicarea calității învățămîntului nostru este condiționată și de modernizarea metodelor și mijloacelor de învățămînt. Potrivit cerințelor modernizării învățămîntului, se vor crea în școli mai multe laboratoare (Fizică, Chimie, Biologie, Lingvistică) și cabinete (Istorie, Geografie) și se va asigura dotarea acestor laboratoare cu aparatură și materiale necesare".

Activitatea practică constituie o completare și consolidare a cunoștințelor teoretice primite în cadrul orelor de predare, verificînd și aplicînd în practică aceste cunoștințe. Totodată scopul principal al activității practice trebuie să fie formarea de priceperi și deprinderi în cunoașterea metodelor practice de lucru, în cunoașterea și mînuirea aparatelor.

Dat fiind rolul deosebit de mare ce-l are activitatea practică, desfășurată sub forma lucrărilor de laborator, în fundamentarea și fixarea noțiunilor teoretice, aceasta va trebui să constituie o preocupare la fel de importantă ca însăși predarea noțiunilor teoretice. Va trebui ca lucrările de laborator să fie astfel întocmite și numărul lor să fie ales în așa măsură încît să cuprindă verificarea tuturor fenomenelor și legilor fizice mai importante. Acest lucru este posibil întrucît fizica are un număr suficient de ore (4 ore săptămînal), de asemenea materia prevăzută a fi predată se poate foarte ușor sistematiza, insistîndu-se asupra fenomenelor și legilor de bază, celelalte cunoștințe constituind doar aplicații ale acestora. Să luăm numai un exemplu : Capitolul „Electrocinetică" din cl. XI-a. — Studiind mărimile de bază ce caracterizează un circuit electric — intensitate, tensiune, rezistență, — precum și relațiile dintre acestea (legile lui Ohm, legile lui Kirchhoff) restul cunoștințelor ca : gruparea rezistențelor, gruparea generatoarelor, șuntarea aparatelor electrice de măsură, energia și puterea curentului, etc. sînt doar o aplicație a celor studiate putîndu-se trata sub forma unor probleme — întrebări însăși de către elevi.

Să nu uităm că elevii din liceu au mai parcurs o bună parte din cunoștințele ce se cer, astfel că ei sînt familiarizați într-o oarecare măsură cu fenomenele fizice, de asemenea dat fiind volumul de cunoștințe matematice pe care le posedă și puterea lor de asimilare, se poate trece la generalizarea fenomenelor urmînd ca din generalizare să reiasă cazurile particulare adică aplicațiile. În acest fel se ajunge la formarea unei logici în judecata elevilor, dezvoltînd mult puterea de gîndire.

Referitor la aceste probleme am face observația că însăși manualele de Fizică nu se ridică întotdeauna la nivelul la care ar putea fi tratate unele chestiuni, date fiind cunoștințele matematice ale elevilor. Elevii dobîndesc an de an cunoștințe matematice noi cu un grad de generalizare și abstractizare din ce în ce mai înalt, manualele de fizică neținînd întotdeauna pasul cu aceste cunoștințe. Am putea chiar să spunem, fără a greși prea mult, că între tratarea matematică a cunoștințelor clasei a XI-a și cele ale clasei a IX-a, sau a X-a nu există nici o deosebire. Mai mult, în manualele de liceu predomină încă în așa măsură descrierea fenomenologică, încît în multe cazuri diferența este foarte mică între aceste manuale și cele din cursul elementar.

În scopul efectuării lucrărilor de laborator în bune condițiuni este necesară existența unor săli (2—3) destinate numai acestui scop, înzestrate cu aparatura necesară. Efectuarea lucrărilor de laborator într-un amfiteatru destinat experiențelor frontale pentru orele de curs, sau a unei săli cu altă destinație nu dă randamentul necesar. Transportul continuu a aparatelor dintr-o sală în alta, duce pe de o parte la deteriorarea lor rapidă iar pe de altă parte improvizarea adhoc a unei săli oarecare drept laborator, îl învață pe elev mai repede cu un caracter dezorganizat și dezordonat al activității practice. Exemplu : cu aceeași clasă de elevi s-au efectuat lucrări de laborator în amfiteatrul școlii, și în sălile de laborator ale unui institut de învățămînt superior (Institutul politehnic Cluj). Deși aparatura nu era prea mult deosebită, totuși, însăși existența unei săli numai pentru laborator ia impresionat pe elevi, ordinea existentă în laborator în repartizarea lucrărilor de laborator a făcut ca însăși elevii să lucreze foarte ordonat, să obțină rezultate cu mult mai precise într-un timp mai scurt. De asemenea solicitarea profesorului în acest caz este mult mai mică, elevii efectuînd aproape întreaga lucrare în mod independent.

În ceea ce privește înzestrarea laboratoarelor cu aparatura necesară, aceasta se poate realiza folosind mai multe surse : a) aparate repartizat prin M.I. Aici am face însă unele observații : În majoritatea cazurilor se repartizează aparate efectuate de I.M.D. deși cu prețuri mai mici s-ar putea procura aparate cu mult mai bune de la alte întreprinderi. (Ex. Întreprinderea Electromagnetică fabrică ampermetre și voltmetre foarte potrivite pentru laboratoarele liceelor la prețul de 60 lei bucata, avînd și avantajul că pe lîngă gabaritul redus se pot monta în plan vertical citirea fiind mai vizibilă). De asemenea s-ar mai putea face observații în ceea ce privește calitatea aparatelor fabricate de I.M.D. b) Aparate procurate direct de la firmele producătoare folosind fondul bănesc al școlii, sau o parte din fondurile M.I. alocate școlii respective în acest scop. c) Confecționarea de aparate și anexe de către elevii școlii în cadrul orelor de cunoștințe industriale sau de către atelierele existente în localitatea respectivă. Pentru a se obține rezultate cît mai bune, trebuie ca profesorii care conduc activitățile practice ale elevilor să țină o strînsă legătură cu profesorul de fizică pentru a se stabili aparatele ce urmează a fi confecționate, în scopul înzestrării laboratorului.

Un rol deosebit de important în buna desfășurare a lucrărilor de laborator, în organizarea laboratorului și înzestrarea cu aparate îl au laboranții. În majoritatea cazurilor însă acești nu au nici o tangență cu fizica, fiind absolvenți ai liceelor teoretice. Va trebui ca însăși angajarea laboranților să se facă cu mai multă grijă, urmînd a fi pregătiți și instruiți, acolo unde se poate, de către profesorul de fizică, astfel încît ei să poată deveni de un real folos în buna desfășurare a lucrărilor practice. În acest sens credem că n-ar fi lipsite de interes deschiderea în marile orașe a unor cursuri de laboranți pentru licee și liceele de specialitate, cu durata de cîteva luni, la sfîrșitul cursurilor participanților înmînînduli-se o diplomă în urma unui examen pe care trebuie să-l susțină. S-ar putea chiar să se înființeze o școală cu specialitatea *Tehnicieni de laborator* cu durata de 1—2 ani la care au dreptul să se înscrie absolvenții unei școli medii cu sau fără diplomă de maturitate. Aceasta deoarece la ora actuală repartizarea de absolvenți ai unei școli profesionale în aceste posturi, nu este posibilă. Un laborant cu o astfel de pregătire poate contribui în măsură foarte mare la înzestrarea

laboratorului, la întreținerea aparaturii, de asemenea poate constitui un sprijin în îndrumarea elevilor la lucrările practice de laborator.

Manualele cuprind o serie de lucrări de laborator care în general descriu punerea în evidență a celor mai importante fenomene și legi fizice prevăzute în programa de învățămînt. Credem totuși că profesorul nu trebuie să se limiteze numai la aceste lucrări și mai ales la modul lor de tratare, avînd în vedere că unele lucrări, fie că sînt tratate foarte simplu, cum ar fi : Măsurarea intensității și tensiunii electrice, Măsurarea puterii și energiei electrice etc., fie că unele lucrări pot fi tratate în alt mod, prin alte metode, în funcție de aparatura existentă. În acest sens un rol deosebit de mare îl are elaborarea de către elevi a noi lucrări de laborator sau elaborarea de noi metode de efectuare a lucrărilor de laborator care se găsesc în manual. Puși în situația de a-și elabora și întocmai referatele după care vor efectua lucrările de laborator, elevii citesc o bibliografie destul de bogată căutînd să folosească un bagaj cît mai mare de cunoștințe. Putem spune că în stabilirea formei finale a referatelor cea mai „grea" problemă a fost tocmai problema renunțării la o serie de chestiuni suplimentare, elevii avînd tendința de a da o tratare amplă a chestiunilor teoretice. De asemenea rezolvarea de cît mai multe probleme constituie o sursă foarte importantă în găsirea de noi teme și metode pentru lucrări de laborator. Problemele de fizică au marele avantaj din acest punct de vedere, că nu se pot rezolva și mai ales verifica fără o înțelegere justă a fenomenului fizic. O dată înțeles și stăpînit fenomenul și legea fizică se poate face ușor pasul următor, adică, verificarea fenomenului în practică, ceea ce constituie o lucrare de laborator. Pentru a ilustra cele spuse vom da cîteva exemple :

— rezolvînd probleme privind metodele de determinare a rezistențelor electrice precum și erorile de măsură ce se fac în fiecare caz, s-a elaborat lucrarea : Determinarea unei rezistențe prin metoda amonte și aval. (s-a determinat valoarea unei rezistențe mici și apoi a unei rezistențe mari prin ambele metode și s-a determinat eroarea de măsură în fiecare caz, trăgîndu-se concluzia asupra metodei mai potrivite).

— rezolvînd probleme privind determinarea tensiunii electromotoare prin metoda compensației și a opoziției s-a elaborat lucrarea : Determinarea tensiunii termoelectromotoare a unui termocuplu (lucrarea se efectuează cu un fir calibrat folosit la determinarea rezistențelor prin metoda punții cu fir, folosind ca element „normal" o baterie de 1,5 V, din comerț).

— rezolvînd probleme privind montajele în punte s-a elaborat lucrarea : Determinarea unei inductanțe și a unei capacități cu ajutorul unui montaj în punte (lucrarea se poate efectua cu același fir calibrat de la puntea cu fir).

Exemple în acest sens s-ar mai putea da, deoarece elevii vin foarte des cu propuneri și idei noi pe care caută să le rezolve și aplice în practică, rolul profesorului crescînd și mai mult în acest caz prin modul cum știe să îndrume elevii în găsirea soluțiilor juste și cît mai simple.

Elaborarea de către elevi a noi lucrări de laborator ar constitui începutul unei munci de cercetare științifică, finalizarea acestei munci oglindindu-se în întocmirea unui *Îndrumător de lucrări practice* care s-ar completa an de an cu noi lucrări. De asemenea am propune în acest sens, ca odată cu olimpiada de fizică să se organizeze un cerc de comunicări științifice ale elevilor.

Privind metodica desfășurării lucrărilor de laborator, am procedat în felul următor : lucrările de laborator s-au efectuat spre sfîrșitul trimes-

trului după ce s-a parcurs materialul necesar montării și efectuării a cel puțin 5 lucrări. Am folosit această metodă dat fiind că laboratoarele nu sînt înzestrate cu numărul corespunzător de truse pentru a se putea efectua simultan aceeași lucrare de către grupe mici de elevi (3—4 elevi). De asemenea efectuarea lucrărilor de laborator spre sfîrșitul trimestrului constituie un mijloc foarte potrivit de recapitulare și fixare a cunoștințelor primite de-a lungul trimestrului.

În prima ședință de laborator s-a anunțat titlul lucrărilor ce se vor executa în trimestrul respectiv, anumite reguli legate de protecția muncii, de ținuta elevilor în laborator, etc. De asemenea tot în prima ședință s-au împărțit elevii pe subgrupe de 3—4 elevi, urmînd a efectua lucrările prin rotație, s-a stabilit lucrarea ce urmează să o facă fiecare subgrupă, apoi s-a trecut la prezentarea aparatelor ce urmează a fi folosite în efectuarea lucrărilor. S-a stabilit următorul model de referat (Vezi planșa).

Pentru ședința următoare fiecare grupă de elevi trebuia să-și elaboreze Considerațiile teoretice, Schița de montaj, Aparatura necesară și eventual Modul de lucru. Forma finală a referatelor s-a stabilit într-o ședință de cerc.

Pentru calcule și alte observații elevii aveau un caiet de laborator în care își treceau și rezultatele obținute. Pentru a veni în sprijinul elevilor s-a multiplicat modelul de referate, astfel în cît chiar în timpul afectat laboratorului elevii dădeau forma finală referatului.

Cele susținute în referat constituie observațiile și concluziile rezultate din desfășurarea activităților practice cu elevii. Desigur că se pot folosi și alte metode care să ducă la rezultate la fel de bune, aceasta depinzînd de înzestrarea laboratorului precum și de alți factori.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

SOCIETATEA DE ŞTIINŢE FIZICE ŞI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista
DE
FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL V

8

AUGUST 1968

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR 23. SECTORUL 7. BUCUREȘTI 45 TELEFON 16.42.86

SUMAR

T. Iliescu

Indici ai reactivității moleculelor organice calculabili prin teoria orbitalilior moleculari 281

L. Titrariu-Moldovan, L. M. Ionescu

Studiul proprietăților polimerilor prin metoda rezonanței magnetice nucleare (RMN) I- Polietilena. 289

C. Alimănescu I. Stănciulescu

Identificarea îngrășămintelor chimice. 296

I. Gavrilă

Modificarea caracteristicilor elementului Grenet sub acțiunea ultrasunetelor . . . 304

A. Szanto

Cu privire la predarea cunoștințelor de metrologie. 309

M. Popovici, S. Isopescu, A. D. Petrescu, A. Redeș, L. Apostol, E. Popovici

Bituminele din unele minereuri cu conținut de sulf identificate cu lumină Wood . . 318

Note preliminare 320

COMITETUL DE REDACȚIE

Ion Agîrbiceanu prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Teodor Bohățiel** asist. univ. — redactor; **Șimion Bulgarea**, prof.; **Maria Codreanu** prof. **Nicolae Martalogu**, conf. univ.; **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C. Moisil**, conf. univ; **Alice Negoescu**, prof.; **Ion C. Petrea**, conf. univ.; **Victor Sahini**, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România). Redactor responsabil: **Constantin D. Albu**, lector univ.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A

Volumul V, nr. 8 august 1968

INDICI AI REACTIVITĂŢII MOLECULELOR ORGANICE CALCULABILI PRIN TEORIA O.M.

ILIESCU TRAIAN Laboratorul de chimie fizică. I.M.F. Cluj.

Folosirea teoriei *O.M.* (este vorba despre teoria simplificată a orbitalelor moleculare a lui Huckel) la studiul reactivităţii moleculelor a permis rezolvarea unor probleme importante ale chimiei organice.

Cu toate că această teorie a obţinut succese mai importante la tratarea sistemelor conjugate şi aromatice, totuşi domeniul ei de aplicare este mult mai larg. Cu ajutorul acestei teorii au fost stabilite relaţii multiple între starea electronică caracteristică moleculei şi mecanismele de reacţie.

De la cinetica chimică este bine cunoscută relaţia lui Arhenius

$$k = Ae^{-U/RT} \qquad (1)$$

unde k = constanta de viteză, U = energia de activare, A = constantă adesea numită şi factor de frecvenţă.

După teoria vitezei absolute de reacţie (Eyring 1935) constanta de viteză e dată de relaţia;

$$k = \frac{KT}{h} e^{\Delta S^*/R} \cdot e^{-\Delta H^*/RT} \qquad (2)$$

unde K = constanta lui boltzman, h = constanta lui Plank, ΔS^* = entropia de formare a stării de tranziţie, ΔH^* = entalpia de formare a stării de tranziţie.

Această relaţie se obţine avînd în vedere că cea care se modifică în decursul reacţiei este energia liberă de activare ΔF^*.

$$\Delta F^* = \Delta H^* - T\Delta S^* \qquad (3)$$

În general ΔS^* fie că este zero, fie că variaţia lui e proporţională cu ΔH^* (care este un criteriu pentru apariţia relaţiilor liniare de energie liberă de tipul ecuaţiei Hammett-Taft (aşa că modificarea structurii se reduce numai la evaluarea mărimii ΔH^*. (În cazul aplicării teoriei *O.M.*, ΔS^* trebuie să varieze foarte puţin).

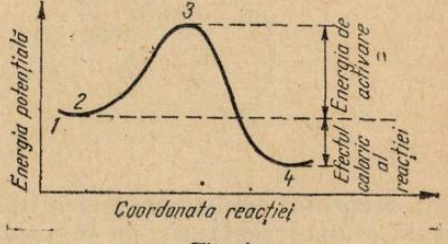


Fig. 1

1 — starea iniţială a moleculelor reactante;
2 — începutul interacţiunii dintre molecule;
3 — starea de tranziţie; 4 — starea finală (produşii de reacţie.)

Adesea pentru evoluţia unei reacţii se foloseşte graficul variaţiei energiei libere/care pentru simplificare se poate reduce la energia potenţială/ în raport cu coordonate de reacţie (fig. 1).

Cercetarea reactivității moleculelor cu ajutorul teoriei M.O. se face prin două metode ; — statică și dinamică. Cea statică se folosește la studiul primelor două stadii ale reacției, iar cea dinamică la studiul stării a treia. Relativ la starea de tranziție tehnica actuală nu ne permite un studiu aprofundat al ei întrucît această stare are o viață foarte scurtă. De aceea folosirea metodei dinamice se reduce numai la analiza caracterului ipotetic al stării de tranziție, majoritatea cercetărilor oprindu-se la evaluarea mărimii ΔH^*.

Metoda statică

Proprietățile fizice ale sistemelor conjugate și aromatice se încadrează foarte bine în limitele acestei metode, propusă inițial de Wheland și Pauling (1935) și înbunătățită de Coulson și Longuet-Higgins.

Pentru această metodă prezintă importanță următoarele noțiuni-numite indici ai structurii moleculare în teoria *M.O.* : densitatea de electroni $\pi(q_r)$, ordinul legăturii (p_{rs}), polarizabilitățile atom-atom, $(\pi_{r,st})$ atom legătură $(\pi_{r\,st})$ legătură-legătură $(\pi_{ru,st})$ autopolarizabilitatea $(\pi_{r,r})$ indicele de valență liberă (Fr) [1,2]

A. Metoda Coulson și Longuet-Higgins.

În cazul acestei metode se ia în considerare faptul că acțiunea reactantului se petrece la acel atom de carbon al moleculei, care se caracterizează prin— ;

1—0 valoare maximă a densității de electroni la un atac electrofil

2—0 valoare minimă a densității de electroni la un atac nucleofil.

3—0 valoare maximă a indicelui de valență liberă în cazul reacțiilor cu radicali liberi.

4—0 valoare absolută maximă a autopolarizabilității, atît pentru reacțiile electrofile cît și nucleofile.

Pentru exemplificare dăm cîteva diagrame moleculare (fig. 2).

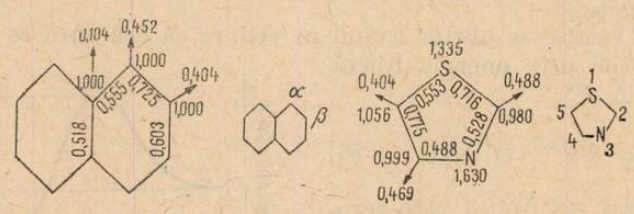


Fig. 2

(în dreptul săgeților este trecut indicele de valență liberă, pe linia de legătură-ordinul legăturii, în dreptul atomului-densitatea de electroni π.)

Naftalina este o *H.A.* (hidrocarbură alternantă) deci conform teoremei Coulson-Rushbrooke densitatea de electroni π la toți atomii de carbon este egală cu 1. Din condițiile 1 și 2 s-ar părea că atît pentru reacțiile nucleofile cît și pentru cele electrofile toți atomii ar fi identici, dar în acest caz intervine condiția 4-a referitoare la autopolarizabilități. Se găsește astfel că $\pi_{1\,1} = 0{,}443$ și $\pi_{2,2} = 0{,}405$ deci atît atacul electrofil cît și cel nucleofil se petrece cu preponderență la atomul de carbon din poziția α.

Tot din diagrama naftalinei se observă că reacţia cu radicali liberi se va petrece tot la atomul din poziţia α întrucît indicele de valenţă liberă are valoarea cea mai mare în această poziţie. În cazul tiazolului se folosesc primele trei condiţii pentru stabilirea felurilor de reacţie (se poate lua în considerare şi condiţia 4-a, vezi [3]). Cea mai mare densitate de electroni o are atomul de carbon din poziţia 5-a (1,056) care este cel mai activ în reacţiile electrofile. Ceamai mică valoare a densităţii de electroni o are atomul din poziţia 2-a (0,980). Substituţia cu radicali liberi se va face în poziţia 2-a întrucît indicele de valenţă liberă are cea mai mare valoare. Principiul metodei statice se poate arăta astfel

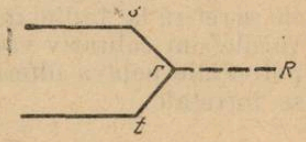


Fig. 3. Apropierea reactantului R de atomul r al sistemului conjugat.

La apropierea lui R mărimile α_r, β_{rs}; β_{rt} (integrala coulombiană şi integralele de rezonanţă) se vor modifica. Dacă modificările nu sînt prea mari ceea ce corespunde unei anumite depărtări a lui R, atunci din mărimile $\delta\alpha_r$, $\delta\beta_{rs}$, $\delta\beta_{rt}$, putem calcula variaţia energiei electronilor π, δW, care se poate scrie sub forma unei serii Taylor;

$$\delta W = \frac{\partial W}{\partial \alpha_r}\delta\alpha_r + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 W}{\partial^2 \alpha}(\delta\alpha_r)^2 + \ldots + \frac{\partial W}{\partial \beta_{rs}}\delta\beta_{rs} + \frac{\partial W}{\partial B_{rt}}\delta\beta_{rt} + \ldots \quad (4)$$

Dar făcînd înlocuirile corespunzătoare; $\frac{\partial W}{\partial \alpha_r} = qr$; $\frac{\partial^2 W}{\partial^2 \alpha_r} = \pi_{r,r}$;

$\frac{\partial W}{\partial \beta_{rs}} = 2\,p_{rs}$, $\frac{\partial W}{\partial \beta_{rt}} = 2\,p_{rt}$

rezultă;

$$\partial W = q_r\ \delta\alpha_r + \frac{1}{2}\pi_{r,r}(\delta\alpha_r)^2 + \ldots + 2\ p_{rs}\ \delta\beta_{rs} + 2p_{rt}\,\delta\beta_{rt} + \ldots \quad (5)$$

Făcînd presupunerea că reactanţii electrofili sînt cationi, cei nucleofili anioni, iar radicalii liberi — particole neutre (ceea ce) nu întotdeauna este adevărat/, putem scrie;

— pentru reactanţii electrofili — $\delta\alpha_r < 0$, $\delta\beta_{rs} = \delta\beta_{rt} = 0$
— pentru reactanţii nucleofili — $\delta\alpha_r > 0$, $\delta\beta_{rs} = \delta\beta_{rt} = 0$
— pentru radicalii liberi — $\delta\alpha_r = 0$, $\delta\beta_{rt} = \delta\beta_{st} = \delta\beta > 0$

(Acest lucru rezultă din faptul că atît α cît şi β au valori negative.)

Atunci ecuţia (5) pentru substituenţii electrofili devine;

$$\delta W = q_r\ \delta\alpha_r + \frac{1}{2}\pi_{r,r}(\delta\alpha_r)^2 + \ldots \text{ (pentru } \delta\alpha < 0). \quad (6)$$

Pentru substituenţii nucleofili;

$$\delta W = q_r\ \delta\alpha_r + \frac{1}{2}\pi_{r,r}(\delta\alpha_r)^2 + \ldots \text{ (pentru } \delta\alpha > 0) \quad (7)$$

iar pentru radicalii liberi substituiţi;

$$\delta W = 2(p_{rs} + p_{rt})\,\delta\beta + \ldots = 2(\sqrt{3} - F_r)\,\delta\beta + \ldots \text{ (pentru } \delta\beta > 0) \quad (8)$$

Întrucît q_r, F_r sînt mărimi pozitive iar $\pi_{r,r}$ este negativ rezultă că reacția decurge în astfel de direcții care se caracterizează printr-o valoare minimă a lui δW (care caracterizează modificarea energiei totale a electronilor π în stadiul al doilea al reacției.)

Cele arătate mai sus prezintă anumite deficiențe /4/. În primul rînd ele se referă la stadiul inițial și nu la cel de tranziție. În al doilea rînd observațiile sînt calitativ valabile numai pentru cazul cînd modificarea energiei potențiale pentru diferiți centri de reacție este descrisă de curbe care nu se întretaie.

B. Metoda Fukui-Honezawa.

Fukui și colaboratorii (5) bazîndu-se pe teoria electronilor de graniță, au introdus un alt indice al reactivității pentru a determina centrul de atac al reactantului la moleculele de H. A. Baza teoriei o constituie postulatul că reactanții electronoatrăgători interacționează cu electronii cei mai slabi legați ai moleculei atacate. Ca urmare în reacțiile electrofile în primul rînd participă electronii de pe cel mai superior O.M. ocupat (energia corespunzătoare acestui O.M. va fi mică în valoare absolută deci energia electronilor care-l ocupă va fi mică.) Deci cea mai activă în reacție va fi acea parte a moleculei care se caracterizează prin cea mai mare densitate a electronilor mai sus amintiți.. În mod analog atacul nucleofil se petrece în acel loc al moleculei în care desitatea ipotetică a perechii de electroni care se află pe cel mai scăzut O.M. liber, va fi cea mai ridicată în starea de bază a moleculei. Orbitalii mai sus discutați se numesc de graniță și se notează cu φ_f

$$\varphi_f = \sum_r C_{fr}\ \chi_r \tag{9}$$

Mărimea 2 C_{fr}^2 pentru atomul r reprezintă densitatea electronică de graniță și se notează cu $f^{(r)}$. După tipul reacției, electrofilă, nucleofilă, cu radicali liberi-avem $f_E^{(r)}$, $f_N^{(r)}$, $f_R^{(r)}$ cu observația că $f_R^{(r)}$ se determină din proprietățile a doi orbitali, celui mai superior ocupat și a celui mai inferior liber — . În concluzie ceea ce se determină în acest caz este densitatea de sarcină pe fiecare din O.M. amintite. Această metodă a fost extinsă de Fukui și colaboratori și la starea de tranziție. [6]. Se constată că pentru H.A. impare $f_E^{(r)} = f_N^{(r)} = f_R^{(r)} = f^{(r)}$

Întrucît studiul densității electronilor de graniță nu permitea compararea diferitelor hidrocarburi Fukui și colaboratorii au introdus o altă mărime numită superdelocalizare S_r.

$$S_r = 2 \sum_{j=1}^{m} \frac{C_j^2}{m_j} \quad m = \text{nr. orbitalelor ocupate.} \tag{10}$$

S-a observat că superdelocalizarea se corelează bine cu indicii experimentali ai reactivității.) există o linearitate între constanta de substituent a lui Hammett σ_r și S_r, cum de altfel există și pentru indicii de reactivitate arătați mai sus F_r, $\pi_{r,r}$) [1.p. 310, 313.].

C. Metoda Nagakura-Tanaca și Brown

De teoria electronului de graniță sînt apropiate și alte modele bazate pe studiul stării de tranziție cum ar fi complexul cu transfer de sarcină

[8, 16, 17]. Printre aceştia amintim modelele date de Nagakura, Tanaka. şi Brown. Ele nu pot fi încadrate nici în teoria statică nici în cea dinamică.

Din diagrama nivelelor energetice ale moleculelor reactante (pentru o serie de molecule aromatice şi alifatice, vezi [8]) se poate trage concluzia că nivelele celor mai joase orbitale libere în moleculele reactanţilor electrofili (NO_2^+, Br^+, Cl^+, H^+,) sînt dispuse mai jos decît nivelele superioare ocupate în moleculele de tip aromatic. De asemenea nivelele O.M. superioare ocupate pentru reactanţi nucleofili (OH^-) sînt mai ridicate decît ale moleculelor de tip aromatic, iarnivelele O.M. superioare ocupate pentru radicali liberi (CH_3 C_6H_5 CH_2) sînt dispuse între nivelele superioare ocupate şi inferioare libere ale hidrocarburilor aromatice luate în diagramă. Studiul acestor diagrame a permis lui Nagakura şi Tanaka să tragă concluzia că în cazul unei substituţii electrofile are loc un transfer de sarcină dela molecula aromatică la particola electrofilă astfel că în stadiul iniţial de reacţie se formează un cation $C_6H_5^+$ (pentru cazul reacţiei benzenului cu NO_2^+ vezi schema de mai jos).

În acest fel reactivitatea moleculei de benzen se determină din reactivitatea cationului format pentru care se determină un F_r^+. În cazul substituţiilor nucleofile după Nagakura are loc un transfer de electroni

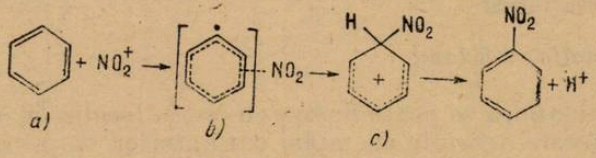


Fig. 4

dela reactant la molecula aromatică ceeace duce la formarea unui anion pentru care se calculează F_r^-. În cazul hidrocarburilor alternante impare $F_r^+ = F_r^-$ (fig. 4)

Mecanismul de nitrare a benzenului după Nagakura şi Tanaka *a*-stadiul iniţial *b*-formarea cationului de benzen (complex π) *c*-starea de tranziţie Wheland (complex σ) *d*-produşii de reacţie.

Brown folosind teoria electronului de graniţă şi bazîndu-se pe teoria perturbaţiei a stabilit relaţia (11) care reflectă transferul de electroni de pe cea mai superioară orbită ocupată.

$$Z_r = Y_e - m_m + \frac{2g_e^{*2}\, C_{mr}^2}{Y_e - m_m} \qquad (11)$$

Z_r = indicele de reactivitate a lui Brown, Y_e = coeficientul lui β în energia *O.M.* inferior liber al agentului electrofil, m_m = coeficientul lui β în *O.M.* superior ocupat al sistemului aromatic, g_e^* — o măsură a gradului de avansare a reacţiei în starea de tranziţie.

D. Metoda Nakajima

Nakajima [7] a propus ca indice al reactivităţii energia de stabilizaţie a atomului s, definită prin relaţia;

$$s_r = \sum_{i=1}^{m} 2\, C_{ir}^2 s_i \qquad (12)$$

Unde m = numărul *O.M.* ocupate, $\mathcal{E}_i$ = energia orbitalului (notația corespunde numai părții din energie care cuprinde integrala de rezonanță β)

Întrucît $\mathcal{E}_r$ depinde de poziția atomului r în moleculă rezultă că el este o măsură a reactivității atomului r pentru reacțiile cu radicali liberi (substituțiile se vor petrece la acei atomi pentru care $\mathcal{E}_r$ este minim).

Indicele de reactivitate pentru reactanții electrofili se determină cu relația

$$\mathcal{E}_r^+ = \mathcal{E}_r - C_{jr}^2 \mathcal{E}_l \qquad (13)$$

unde indicele f se referă la *O.M.* superior ocupat, iar pentru reactanți nucleofili prin relația

$$\mathcal{E}_r^- = \mathcal{E}_r + C_{f',r}^2 \mathcal{E}_{f'} \qquad (14)$$

unde indicele f' se referă la cel mai inferior *O.M.* neocupat. Pentru *H.A.* impare $\mathcal{E}_r^+ = \mathcal{E}_r^-$.

Metoda dinamică

Aproximația Wheland

Metoda dinamică se poate ilustra cu teoria localizării a lui Wheland [9]. Conform acestei teorii in exemplul dat anterior cu nitrarea benzenului starea de tranziție poate fi reprezentată sub forma structurii „c". Ceea ce este deosebit la această structură este faptul că orbitalul atomic al atomului de carbon atacat iese din sistemul de conjugare (hibridizarea din sp^2 devine sp^3). Calculul energiei acestei stări ipotetice de tranziție prin metoda O.M. permite obținerea unei valori aproximative a căldurii de formare a stării de tranziție ΔH^*, dacă se neglijează modificarea energiei legăturilor σ în sistem. Fig. 5 prezintă starea de tranziție Wheland pentru trei tipuri de substituenți pentru sistemele aromatice.

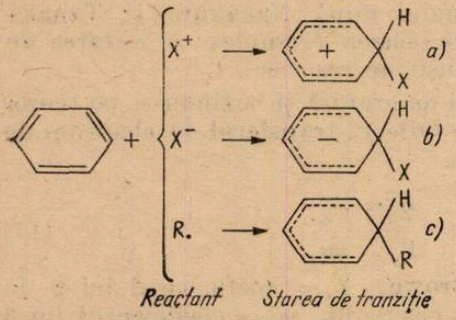


Fig. 5a — substituție electrofilă (4 electroni π delocalizați) b-substituție nucleofilă (6 electroni π de localizați). c-substituție cu radicalliber (5 electroni π delocalizați).

Energia de localizare $L^{(r)}/r$ indică atomul de carbon atacat / este dată de relația;

$$L^{(r)} = W^{(r)} - W_0 \qquad (15)$$

unde W_0 = energia electronilor în starea inițială, $W^{(r)}$ = energia în starea de tranziție (în literatură se mai întîlnește și sub forma diferenței $L^{(r)} = W_0 - W^{(r)}$ cînd ea are valoare pozitivă). Reacția va avea loc desigur la acel atom de carbon pentru care $L^{(r)}$ (care e luată ca energie de activare (este minimă. Se notează de obicei energia de localizare pentru substituția electrofilă prin $L_E^{(r)}$ iar pentru reacțiile nucleofile și radicalice prin $L_N^{(r)}$, $L_R^{(r)}$, și sînt date de relațiile;

$$L_E^{(r)} = W_E^{(r)} - W_0; \; L_N^{(r)} = W_N^{(r)} - W_0; \; L_R^{(r)} = W_R^{(r)} - W_0 \qquad (16)$$

Pentru *H. A.* impare $L_E^{(r)} = L_N^{(r)} = L_R^{(r)} = L^{(r)}$

Ca şi ceilalţi indici de reactivitate şi energia de localizare se corelează liniar cu indici experimentali ai reactivităţii de exemplu σr [1.p. 314]

Pentru evaluarea energiei de localizare Longuet-Higgins [10] şi Dewar [11] au propus o metodă aproximativă foarte simplă. Astfel moleculele de H.A. pare se divid în două molecule neutre de H.A. impare R şi S. Fiecare din aceste fragmente conţin un electron pe O.M. nelegat. Prin această operaţie de diviziune are loc o creştere a energiei electronilor π, ΔW_π care se poate calcula prin metoda perturbaţiei [11]

$$\Delta W_\pi = \left| 2 \left(\sum_{r,s} a_{or}\, b_{os} \right) \beta \right| \qquad (17)$$

unde a_{or} = coeficientul *C.A.* al atomului r în *O.M.* nelegat al fragmentului R, b_{os} = idem pentru atomul s al fragmentului S. S-a observat că energia de localizare coincide suficient de bine, pentru *H.A.* pare, cu mărimea ΔW_π (ea se notează cînd este calculată prin această aproximaţie cu $L^{(r)}$' (Mărimea $2 \left(\sum_{rs} a_{or}\, b_{rs} \right)$ se notează cîteodată cu N_r şi se numeşte numărul de reactivitate (Dewar).

Teoria localizării poate fi extinsă şi la sistemele heterociclice astfel de încercări fiind făcute de Longuet-Higgins [10] bazîndu-se pe studiul *O.M.* nelegate.

Am arătat că fiecare din indicii de reactivitate introduşi se corelează (dependenţă liniară) cu un indice de reactivitate experimental σ_r Făcîndu-se această corelare pentru H.A. prin metoda celor mai mici pătrate s-a constatat că abaterea medie cea mai mică se observă pentru cazul $\sigma_r - L^{(r)}$ ceea ce ne îndreptăţeşte să afirmăm că energia de localizare prezintă cea mai mare importanţă dintre toţi indicii amintiţi.

Reactivitatea diferitelor poziţii din moleculă poate fi descrisă şi cu ajutorul teoriei rezonanţei, ajungîndu-se la concluzii concordante cu cele obţinute prin teoria *O.M.* În aceste calcule se ţine cont de principiul conform căruia energia de rezonanţă creşte odată cu mărirea numărului de structuri rezonante (amănunte vezi [12] p. 320)

În ceea ce priveşte starea de tranziţie Wheland, caracterizată printr-o energie de activare ΔH^* aproximativ egală cu energia de localizare, ne putem aştepta ca reactivitatea unui atom de carbon dintr-o H.A. să fie independentă de reactant. Întrucît acest lucru nu este adevărat sîntem îndreptăţiţi să afirmăm că structura Wheland nu descrie starea de tranziţie ci o stare intermediară mai puţin stabilă a produselor de reacţie.

Mecanismul de reacţie poate fi descris şi cu ajutorul curbelor de energie potenţială ca cele propuse de Szwarc [13,14] |fig. 6|.

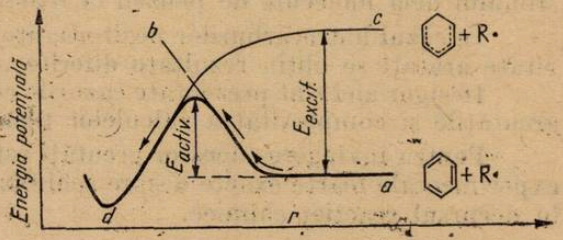


Fig. 6. Modificarea energiei a două sisteme în funcţiede distanţa particolelor care reacţionează la reacţiile cu radicali liberi.

Porţiunea ab corespunde apropierii lui R de A (benzenul) care se găseşte în starea fundamentală, ceea ce duce la o creştere a respingerii şi deci la o creştere a energiei. Porţiunea cd (analoagă cu o curbă Morse)

corespunde atracției dintre R și A, care se găsește într-o stare excitată (unul din electronii π e localizat la atomul de carbon și nu interactionează cu ceilalți).

Intersecția curbelor *ab* și *cd* ar corespunde stării de tranziție. Szwarc [14] a luat $E_{excit.} = L_R^{(r)}$. Dar după cum se vede $E_{activ.} = \alpha E_{exc.t.} = \alpha L_R^{(r)}$ $(0 < \alpha < 1)$.

Nagakura a extins metoda lui Scwarc și pentru reacțiile de substitție heterolitice la sistemele aromatice (fig. 7).

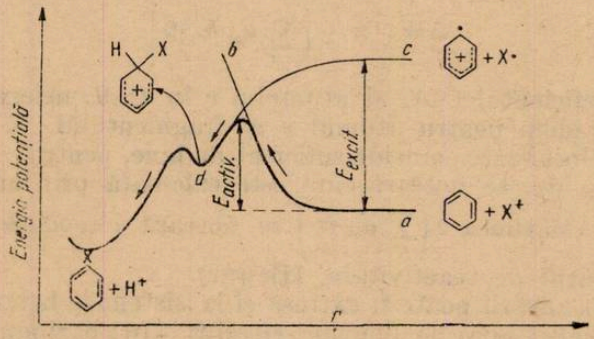


Fig. 7. Curba energiei potențiale a reacției de substituție electrofilă la benzen

Si aici $E_{activ.} = \alpha E_{excit.}$, iar $E_{excit.}$ se calculează cu formula

$$E_{excit.} = L^+ + I_s - A_r + S^+ \qquad (18)$$

pentru reacțiile electrofile, iar pentru cele nucleofile cu formula;

$$E_{excit.} = L^- + I_r - A_s + S^- \qquad (19)$$

unde L^+ și L^- -energia de localizare pentru cationul respectiv anionul de benzen I_s, I_r -potențialul de ionizare ale moleculei de benzen respectiv al reactantului X^-, A_r, A_s -afinitatea reactantului respectiv a benzenului pentru electron, S^+, S^- -energia necesară modificării hibridizării (din sp^2 în sp^3)

După cum se vede din figură precum și din reacția de nitrare a benzenului, formarea complexului Wheland este precedat de transferul electronului dela molecula de benzen la reactantul electrofil.

În cazul hidrocarburilor nealternante, folosindu-se indici de reactivitate arătați se obțin rezultate diferite, neconcordante. [12]. p. 302).

Desigur aici sînt prezentate cazurile cele mai simple și semnificative, greutățile și complexitatea calculelor teoretice fiind mult mai mari.

Pentru învingerea acestor greutăți este necesar să dispunem de date experimentale foarte exacte despre schimbarea configurațiilor moleculelor în decursul reacției chimice.

BIBLIOGRAFIE

[1] *A. Strewieser* Jr. — Teoria moleculearnih orbit dlea himicov organicov. Moscova 1965.
[2] *C. I. Chirsu.* — Studii și cercetări de chimie. vol. 15 nr. 11, 1967.
[3] *Brown R. D.* — Tetrahedron 19 Supll. 2, 337 (1963)
[4] *Coulson C. A.*, Longuet-Higgins H. C. — Proc. Roy. Soc. A191, 39 (A192, 16(1947)
[5] *Fukui K, Yonezawa T, Nagata C, Shingu H.* — J. Chem. Phys. *22*, 1433 (1954).

[6] *Fukui K., Yonezawa T., Nagata C.* — Bull. Chem. Soc. Japan., 27, 423 (1954)
[7] *Nakajima T.* — J. Chem. Phys., 23, 587 (1955)
[8] *Nagakura S., Tanaka J.* — J. Chem. Phys. 22, 563 (1954), Bull. Chem. Soc. Japan. 32, 734 (1959)
[9] *Wheland G. W.* — J. Am. Chem. Soc. *64*, 900 (1942)
[10] *Longuet-Higgins H. C.* — J. Chem. Phys. 18, 283 (1950)
[11] *Dewar M. J. S.* — J. Am. Chem. Soc. 74, 3341 , 3345, 3357, (1952).
[12] *K. Higasi, H. Baba, A. Rembaum* — Kvantovaia organicescaia himia. Moscva 1967.
[13] *Levy M., Szwarc M.* — J. Chem. Phys. 22 1621 (1954), J. Am. Chem. Soc. 77, 1949 (1955)
[14] *Szwarc M.* — J. Phys. Chem. *61* 40 (1957)
[15] *Nagakura S.* — Tetrahedron 19, Supll., 2, 361 (1963)
[16] *Brown R. D.* — J. Chem. Soc. 2224 (1959).
[17] *Brown R. D.* — J. Chem. Soc. 2232 (1959).

STUDIUL PROPRIETĂȚILOR POLIMERILOR PRIN METODA REZONANȚEI MAGNETICE NUCLEARE (RMN) I — POLIETILENA

LIDIA TITRATU MOLDOVAN și *LIVIA MARIA IONESCU*
Facultatea de Fizică — Universitatea București.

Metodele radiospectroscopice de cercetare a structurii moleculelor și a naturii mișcărilor lor interne și externe au dobîndit o mare însemnătate în ultimul timp. Printre acestea, un rol important îl joacă metoda rezonanței magnetice nucleare (RMN), care să informații prețioase referitoare la structura moleculelor din lichide, precum și la structura cristalelor. Pe de altă parte, această metodă permite să se cerceteze direct mișcarea moleculară ca un întreg, precum și părțile ei constitutive. Ultima posibilitate este foarte importantă în cazul polimerilor, ale căror proprietăți se definesc mai ales prin flexibilitatea lanțurilor macromoleculare.

Mobilitatea macromoleculelor în polimeri poate fi studiată cu ajutorul măsurătorilor mecanice și dielectrice.

Metoda RMN, în particular rezonanța protonilor, permite adesea să se studieze mișcările în molecule în cazurile în care nu este aplicabilă metoda măsurătorilor dielectrice.

Studiul polimerilor prin metoda RMN a arătat că fenomenul de cristalizare influențează puternic mărimea și forma liniei de absorbție la rezonanță. Holroyd L. V. și colaboratori [1] au observat că la răcirea rapidă a cauciucului natural pînă la −35°C amplitudinea liniei de absorbție rămîne mare, deoarece cristalizarea nu poate avea loc la această temperatură. Prin menținerea probei la temperatura de −25°C apropiată de temperatura cristalizării maxime, se observă lărgirea și slăbirea în intensitate a liniei RMN. Influența gradului de cristalinitate asupra lățimii liniei de absorbție RMN a fost observată la politetrafluoretilenă [2]. Wilson C. W. și Pake G. E. [3], [4], subliniind legătura care există între gradul de cristalinitate și spectrul RMN, au arătat că într-un interval determinat de temperatură liniile RMN : H^1 în polietilenă și F^{19} în politetrafluoretilenă au o structură caracteristică unui sistem bifazic (fig. 1).

La temperaturi mai mari de 0°C linia este formată din două componente : una îngustă și una largă (în figura 1 acest lucru este indicat prin

linie punctată). Wilson C. W. și Pake G. E. au presupus că părții amorfe a polimerului îi corespunde componenta îngustă, iar părții cristaline cea largă. Gradul de cristalinitate se definește ca fiind raportul dintre suprafața mărginită de componenta largă și suprafața mărginită de întreaga curbă de absorbție. S-a obținut în felul acesta o metodă de determinare a gradului

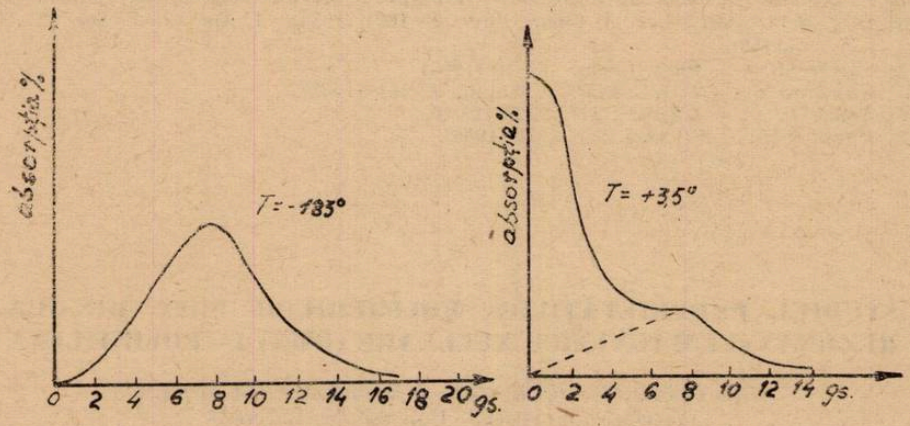


Fig. 1. — Curbe de absorbție RMN pentru polietilenă

de cristalinitate al unui polimer. Metoda a fost aplicată în cazul polietilenei la temperatura camerei. Pentru seria polietilenelor cu un grad de cristalinitate ε cuprins între 59—93% diferența dintre valorile lui ε, determinate prin metoda roentgenografică și prin metoda RMN, nu depășește 1,8% [5].

Forma semnalului RMN nu depinde de poziția lanțurilor și a segmentelor de lanț în polimer, ci de caracterul mișcării lor. Dacă în corpul solid se găsesc grupe mobile, linia RMN se îngustează ca urmare a anihilării cîmpurilor magnetice locale; îngustarea liniei apare, de exemplu, în cazul în care timpul de corelare este de 10^{-4} s. Timpul de corelare (τ_c) reprezintă durata medie în care o moleculă își păstrează configurația. Dacă în polimer se află domenii cristaline cu $\tau_c \gg 10^{-4}$ s. și domenii amorfe cu $\tau_c \ll 10^{-4}$ s., atunci îl putem considera ca un sistem bifazic. În acest caz, se obține o curbă compusă și în funcție de raportul componentelor se poate determina gradul de cristalinitate. În plus, trebuie să se țină cont de rolul important pe care îl joacă temperatura.

În fig. 2 s-a reprezentat grafic dependența formei liniei RMN de timpul de corelare, pentru o serie crescătoare de temperaturi:

a) $\tau_{c\,\text{amorf}} > 10^{-4}$ s. și $\tau_{c\,\text{crist}} > 10^{-4}$ s.; temperatură joasă; ambele faze dau o linie largă.

b) $\tau_{c\,\text{amorf}} \approx = 10^{-4}$ s. și $\tau_{c\,\text{crist}} > 10^{-4}$ s.; în faza amorfă a început mișcarea grupelor sau a segmentelor, iar pe curbă apare o încovoiere,

c) $\tau_{c\,\text{crist}} \gg 10^{-4}$ s. $\gg \tau_{c\,\text{amorf}}$; faza amorfă dă o componentă îngustă, iar cea cristalină una largă.

d) $\tau_{c\,\text{amorf}} \ll 10^{-4}$ s. și $\tau_{c\,\text{crist}} < 10^{-4}$ s.; temperatură înaltă; încă de la începutul topirii există o mișcare însemnată în ambele faze; pe curba de absorbție a mai rămas doar componenta îngustă.

Evident, determinarea structurii cristaline prin metoda RMN este posibilă numai în cazul c) Condiția $\tau_{c\ cryst} \gg 10^{-4}$ s. $\gg \tau_{c\ amorf}$ este îndeplinită numai la o anumită temperatură determinată; la cîțiva polimeri,

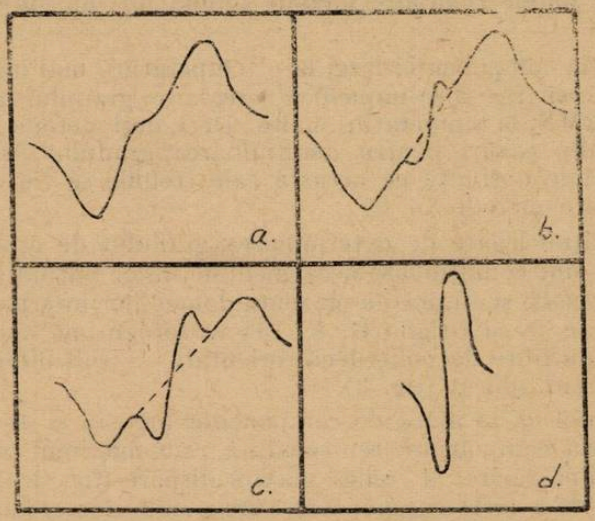


Fig. 2. — Dependența formei liniei RMN de timpul de corelare a două faze.

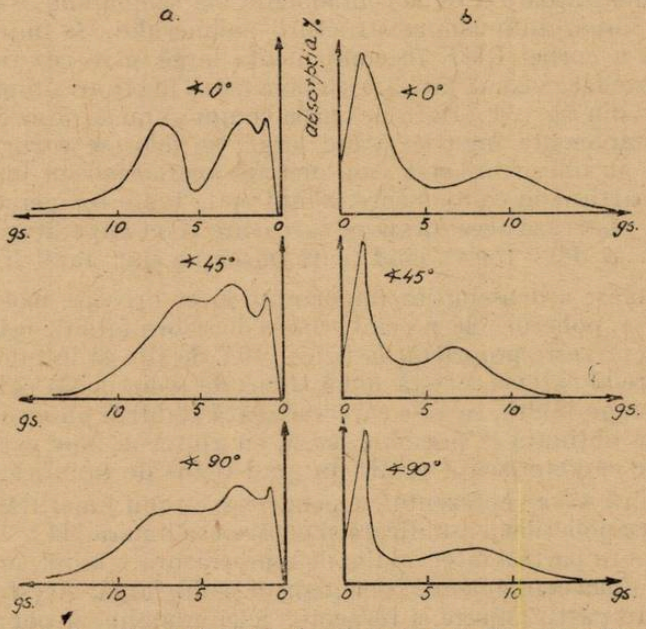


Fig. 3. — Spectrul RMN al unui fascicol de fibre de polietilenă orientată sub diferite unghiuri în raport cu cîmpul: a) după întindere la rece; b) după răcire.

ca de exemplu cauciucul natural [6], nu este îndeplinită nici la această temperatură și nu se mai formează o linie compusă.

Slichter W. P. și Mc Call D. W. [7] au arătat, că pentru polietilena liniară gradul de cristalinitate găsit prin metoda RMN variază puțin cu

schimbarea temperaturii într-un nivel larg (240—300°K) și corespunde bine cu datele obținute prin celelalte metode. Pentru polietilena ramificată însă, rezultatele obținute prin metoda RMN variază rapid cu temperatura și corespund cu datele celorlalte metode numai într-un interval îngust de temperatură.

Dispariția componentei largi la o temperatură mai înaltă decît temperatura camerei (fig. 2-d) împiedică cercetarea gradului de cristalinitate prin metoda RMN, la temperaturi înalte. Deci, deși metoda RMN este folosită în anumite cazuri pentru determinarea gradului de cristalinitate, totuși rezultatele obținute pe această cale trebuie să fie confruntate cu datele celorlalte metode.

Dificultățile legate de determinarea gradului de cristalinitate prin metode RMN sînt condiționate deasemeni de însăși natura stării cristaline a plolimerilor înalți și anume de prezența domeniilor intermediare de ordonare. Hyndman D. și Origlio G. F. [8] au fotografiat spectrul RMN al unui fascicol de fibre de polietilenă, orientată — sub diferite unghiuri în raport cu cîmpul aplicat (fig. 3).

Se observă că în afară de componenta îngustă și de cea largă mai există o a treia componentă reprezentată prin maximul intermediar din figura 3-a. După răcire, al treilea maxim dispare (fig. 3-b). Autorii consideră că cea de-a treia componentă corespunde domeniilor amorfe, dar orientate prin întindere.

Din cele arătate mai sus, se desprinde concluzia că măsurarea mărimilor corespunzătoare a două componente ale semnalului RMN, ne furnizează date importante asupra structurii polimerului. Se impune o împărțire grafică a curbei RMN în componenta largă și în cea îngustă. Acest lucru se poate face vizual, fără greșeli prea mari, în cazuri simple, cînd curba are aspectul din fig. 2-c. Dacă pe curba compusă nu se observă clar împărțirea în componenta îngustă și cea largă, se folosesc cazuri particulare. Unii autori au folosit în acest scop metoda anamorfozelor liniare [9]. Alții pentru despărțirea în componente, admit că la toate temperaturile componenta largă păstrează acea formă pe care o are la o temperatură foarte coborîtă (mai joasă de —150°C) cînd toate mișcările sînt mult frînate.

Ca urmare a deosebirilor importante în ce privește masa moleculară și ramificarea, polietilenele prezintă unele deosebiri față de ceilalți polimeri și în ceea ce privește proprietățile fizice [10]. Se știe că în funcție de gradul de ramificare al catenei, există două tipuri de polietilenă, polietilena obținută la presiune înaltă, care se caracterizează printr-o puternică ramificare și polietilena obținută la presiune joasă, cu ajutorul unor catalizatori speciali, care se caracterizează printr-un grad redus de ramificare.

În figura 4 s-a reprezentat dependența lățimii liniei RMN de temperatură pentru polietilena ramificată și pentru cea liniară [11]. În fiecare caz, în cea mai mare parte a intervalului de temperatură studiat, linia RMN este formată din două componente : una îngustă și alta largă. Aceste componente sînt atribuite părții amorfe și respectiv celei cristaline a polimerului [12]. Componenta lată a polimerului liniar se schimbă foarte puțin cu temperatura în momentul în care se atinge o temperatură ceva mai mică decît punctul de curgere (410°K).

Componenta lată pentru polimerul ramificat se îngustează foarte repede odată cu creșterea temperaturii și dispare ceva mai sus de temperatura camerei. Această dispariție se produce pe deoparte, din cauză că

intensitatea componentei înguste este mult mai mare decît a celei largi și pe de altă parte, pentru că topirea cristalitelor se produce chiar în apropierea temperaturii camerei. În afară de aceasta, mișcarea din ce în ce mai accentuată a segmentelor de lanț în interiorul cristalitelor, la temperaturi mai înalte, provoacă acoperirea componentei largi de către cea îngustă. Cele două tipuri de polietilenă (liniară și ramificată) mai prezintă și deosebirea următoare : la polietilena liniară, o mare parte a topirii se produce într-un interval de temperatură de cîteva grade în apropierea punctului final al topirii, în timp ce topirea polietilenei ramificate are loc într-un larg interval de temperatură.

S-a constatat că există deosebiri importante și în ceea ce privește mișcarea de lanț în interiorul cristalitelor polimerului ramificat, în comparație cu cea a polimerului liniar. Aceste deosebiri sînt atribuite existenței defectelor de rețea, în cazul polietilenei ramificate, care s-ar putea să fie condiționate de includerea în cristalite a punctelor de ramificare ale lanțurilor. Din compararea componentelor înguste ale liniilor de absorbție pentru cele două tipuri de polietilenă se poate observa că îngustarea acestei componente în polimerul ramificat se produce la o temperatură mai joasă decît în polimerul liniar (fig. 4). Această comportare este în acord cu datele obținute prin difracția de raze X [13] care confirmă faptul că gradul înalt de cristalinitate al polietilenei liniare constituie o frînă a mișcării în domeniile amorfe. Liniile de absorbție foarte înguste la temperaturi mai joase decît punctul de topire, pentru polietilena liniară, iar pentru polietilena ramificată, la temperaturi mai joase decît temperatura camerei, indică existența unei mișcări moleculare intense asemănătoare cu cea existentă în cîteva lichide vîscoase.

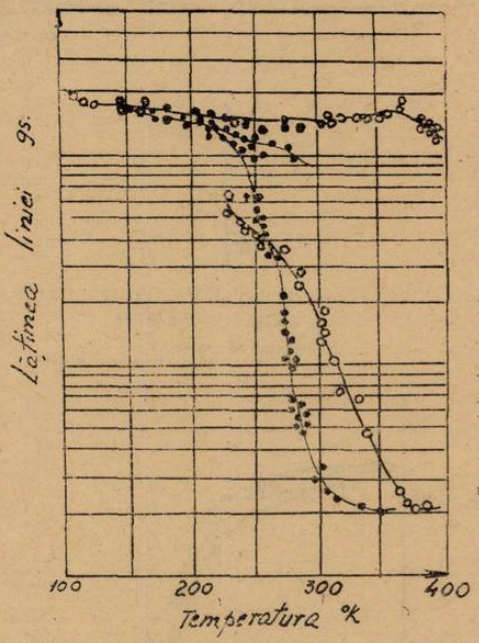


Fig. 4. — Dependența lățimii liniei RMN de temperatură pentru
● ● ● polietilena ramificată
○ ○ ○ poletilena liniară

Imediat mai jos de acest domeniu de temperatură s-ar părea că a încetat deodată mișcarea în faza amorfă. Pare însă puțin plauzibil faptul că la aceste temperaturi joase a încetat deodată mișcarea de lanț care era suficientă pentru a micșora lățimea liniei RMN pînă la o treime din valoarea ei calculată în cazul rețelei rigide. Calculele efectuate pentru rețeaua rigidă și pentru cazul în care se ține cont de mișcarea de rotație a segmentelor de lanț, la temperaturi mai joase decît temperatura camerei, au condus la concluzia că în domeniile amorfe ale polietilenei, la temperaturi mult mai mici decît punctul limită de topire, se manifestă atît o mișcare de rotație, cît și o mișcare de translație a segmentelor. Această mișcare din domeniile amorfe se accentuiază progresiv într-un interval larg de temperaturi.

Peterlin și colaboratori [14], [15], au studiat gradul de ramificare și gradul de cristalinitate al polietilenei prin metoda dilatometrică și prin metoda RMN. Ei au constatat că la temperatura camerei există o mare diferență între forma liniilor RMN corespunzătoare polietilenei liniare și cele corespunzătoare polietilenei ramificate (fig. 5). Același lucru se întîmplă și la $-170°C$. Intensitatea componentei înguste la $-170°C$ este proporțională cu raportul dintre numărul grupelor CH_3 și al grupelor CH_2 din polimer. Îngustarea liniei RMN la o serie de polimeri odată cu creșterea temperaturii (sau lărgirea ei cu micșorarea temperaturii) se produce gradat deoarece fiecare schimbare a lățimii liniei corespunde unei schimbări determinate a caracterului mișcării moleculare.

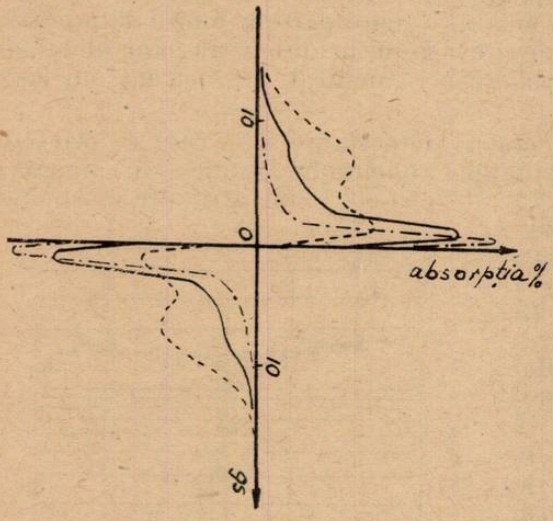


Fig. 5. — Forma curbei RMN pentru trei probe de polietilenă la 20°G
– – – polietilenă liniară;
——— și –·–·– polietilene ramificate.

În funcție de micșorarea liniei cu temperatura (fig. 6), a fost calculată frecvența de corelație (ν_c). Pentru polietilena liniară s-a obținut o dreaptă în coordonate lg. ν_c — 1/T, a cărei pantă corespunde unei energii de activare egală cu 2,8 Kcal/mol.

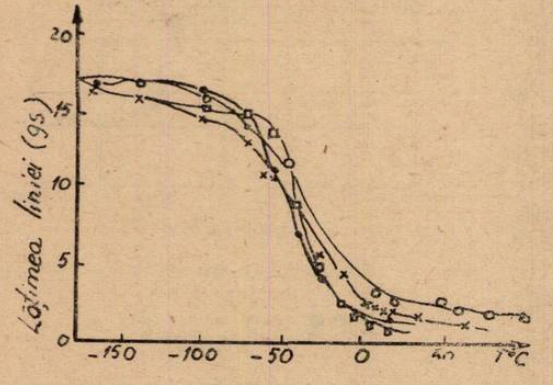


Fig. 6. — Dependența lățimii liniei RMN de temperatură pentru patru probe de polietilenă;
○ ○ ○ liniară;
● ● ●; □ □ □ și × × × ramificată.

Pentru polietilena ramificată se obțin două drepte care se taie sub un unghi de 63°, iar energiile de activare corespunzătoare sînt egale respectiv, cu 2,0 și 5,8 Kcal/mol.

Schimbarea lățimii liniilor RMN se interpretează ca fiind determinată în cea mai mare parte de începutul mișcării de rotație a grupelor separate, sau a segmentelor de lanț polimer. Pentru unii polimeri schimbarea mișcării moleculare, pusă în evidență prin schimbarea unor proprietăți, nu influențează lățimea liniei RMN. Astfel, de exemplu, la polietilena de densitate mare, îngustarea mai însemnată a liniei RMN se produce doar în jurul temperaturii de 200°K.

Cu ajutorul metodei RMN a fost studiată de asemeni influența iradierii asupra polimerilor înalți, în special asupra polietilenei. Fuschillo N. și Sauer J. A. [16], [17], [18] au urmărit influența iradierii cu neutroni în reactorul nuclear și cu raze γ de la o sursă de Co^{60} asupra polietilenei.

Pe lîngă metoda RMN, ei au folosit și metoda dinamo-mecanică. Iradierea cu un flux de 8×10^{18} neutroni/cm^2 a schimbat puternic forma curbei de absorbție la temperatura camerei. Linia RMN a polietilenei are o structură compusă; iradierea modifică în special forma componentei înguste, care corespunde părții amorfe a polimerului. În funcție de mărirea modulului dinamic, s-a calculat numărul legăturilor transversale din structura polimerului. În tabelul 1 se arată schimbarea proprietăților polietilenei prin iradiere.

Tabelul 1

Schimbarea proprietăților polietilenei prin iradiere

Doza 10^{18} neutr./cm^2	0	0,3	0,6	1,2	2,8	5,5	8,0
Nr. leg. transv. la 100 atomi de C.	0	4	10	20	30		
% de cristalinitate (prin RMN) N_c/N	59	54		55	64	67	76
% de cristalinitate (după roentgenogramă)	55	50	25		10	0	0

Autorii explică acțiunea iradierii asupra polietilenei prin existența a două procese: distrugerea cristalitelor și formarea de legături. La o doză de $0,3 \times 10^{18}$ neutroni /cm^2, predomină influența primului proces. La o doză mai mare sau egală cu $1,2 \times 10^{18}$ neutroni/cm^2 predomină influența celui de al doilea proces. În mod similar, odată cu creșterea dozei de iradiere, scade și indicele rigidității de înaltă frecvență (N_c/N).

Slichter W. P. și Mandell E. R. [19] au studiat influența iradierii asupra polietilenei cu un flux de electroni. După cum se vede din fig. 7, la doze nu prea mari ale iradierii (5×10^8 electroni/cm^2) cu electroni rapizi se observă micșorarea lățimii liniei RMN la temperatuturi mai mari de 100°K).

La o temperatură mai înaltă de 250°K lățimea liniei RMN este mai mare pentru polietilena supusă acțiunii unui flux mare de neutroni decît pentru cea neiradiată.

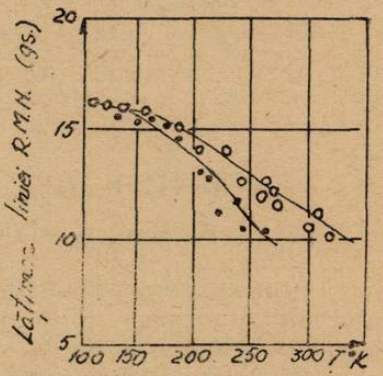


Fig. 7. — Influența iradierii cu flux de electroni asupra lățimii liniei RMN a polietilenei:
○ ○ ○ polietilenă neiradiată;
● ● ● polietilenă iradiată cu o doză de 5×10^8 electroni rapizi/cm^2

Pentru clarificarea mecanismului acțiunii iradierii, autorii au calculat frecvența de corelație ν_c. Graficul lg. $\nu_c = -1/T$ pentru polietilena iradiată cu un flux de $1,8 \times 10^{18}$ neutroni/cm^2, este format din două segmente de dreaptă. La temperaturi joase are loc procesul cu o energie de activare $E = 1,4$ Kcal/mol.; în acest caz amplitudinea oscilațiilor este mică. La o temperatură mai înaltă sînt posibile rotații sau oscilații cu amplitudine mare, sau mișcări de translație ale lanțurilor, energia fiind egală cu 7,4 Kcal/mol. La o doză foarte mare de radiații, egală cu $1,49 \times 10^{19}$

neutroni/cm², graficul $\lg \nu_c = f(1/T)$ este format dintr-o singură dreaptă. Energia de activare corespunzătoare este de 1,8Kcal/mol.; în acest caz există un număr mare de punți transversale, care frînează puternic mișcarea lanțurilor polimere.

Din cele cîteva exemple descrise sumar și referitoare numai la polietilenă, rezultă că metoda RMN oferă posibilitatea obținerii unor informații importante despre polimeri în foarte multe și variate direcții, informații care concordă cu datele obținute și prin alte metode, ca de pildă cele dinamomecanice, metoda spectroscopiei în infraroșu și metoda roentgenografică.

BIBLIOGRAFIE

1. *L. V. Holroyd, R. S. Codrington, B. A. Mrowca, E. Guth*, J. Appl. Phys. 22, 696 (1951).
2. *J. G. Powles, J.A.E.Kail*, J. Polymer Sci., 31, 183 (1958).
3. *C. W. Wilson, G. E. Pake*, Phys. Rev., 89, 896 (1953).
4. *C. W. Wilson, G. E. Pake*, J. Polymer. Sci., 10, 503 (1953).
5. *R. L. Collins*, Bull. Am. Phys. Soc., 1, 216 (1956).
6. H. S. *Gutowsky, L. H. Meyer*, J. Chem. Phys., 21, 2122 (1953).
7. *W. P. Slichter, D. W. Mc. Call*, J. Polymer Sci., 25, 230 (1957).
8. *D. Hyndman, G. F. Origlio*, J. Polymer Sci., 39, 556 (1959).
9. *Ж. Ж. Шихомирова. В. В. Воеводский*, Оптика и спектроскопия, 7, 829, (1959).
10. *R. B. Richards*, Polyethylene — Structure, Crystallinity, and Properties, J. Appl. Chem., 1, 370 (1951).
11. *D. W. Mc Call, W. P. Slichter*, Molecular Motion in Polyethylene, J. Polymer. Sci., 26, 171 (1957).
12. *C. W. Wilson, III, G. E. Pake*, N.M.R. Determination of Degree of Cristallinity in two Polymers, J. Polymer Sci., 10, 503 (1953)
13. *W. P. Slichter*, On the Morphology of High Crystalline Polythylene, J. Polymer Sci., 21, 141 (1956).
14. *A. Peterlin, F. Krasovec, E. Pirkmajer, I. Levstek*, Makromol. Chem., 37, 231 (1960).
15. *A. Peterlin, F. Krasovec, E. Pirkmajer, I. Levstek*, Symposium Über Makromolekulen im
16. wiesbaden, 1959, Vortrag. 1—A—12.
N. Fuschillo, J. A. Sauer, J. Appl. Phys. 28, 1073 (1957).
17. *N. Fuschillo, J. A. Sauer*, J. Chem. Phys., 26, 1348 (1957).
18. *J. A. Sauer, N. Fuschillo*, Bull. Amer. Phys. Soc., 2, 318 (1956).
19. *W. P. Slichter, E. R. Mandell*, J. Phys. Chem. 62, 334 (1958).

IDENTIFICAREA ÎNGRĂȘĂMINTELOR CHIMICE

Prof. *CARMEN ALIMANESCU*, Prof. *ION STANCULESCU*

Studierea îngrășămintelor chimice începe din clasele a VII-a —VIII-a prin noțiuni elementare, ca apoi să se continue în cadrul orelor de chimie la clasa a IX-a, la capitolul referitor la studiul azotului și fosforului.

În țara noastră datorită specificului și al bazei de materii prime ieftine de care dispunem, s-a dezvoltat în ultimii ani o industrie puternică de îngrășăminte chimice. Considerăm însă că prezentarea acestui material la orele de curs este foarte sumară chiar în clasa a IX-a și nu i se acordă suficientă importanță.

Programa actuală se limitează la enumerarea unor îngrășăminte și la prezentarea unor proprietăți care se pot reține mai mult sau mai puțin mecanic, terminînd cu cîteva cifre ce reprezintă creșterea producției la hectar, ceea ce s-ar putea face foarte bine și la orele de științe naturale.

Credem că ar fi mai util să se prezinte unele linii tehnologice folosite de industrie noastră chimică pentru obținerea de îngrășăminte, sau să se dea metode de identificare rapidă a unor îngrășăminte chimice (eventual

conținutul de substanță activă), ceea ce le-ar putea folosi direct elevilor în întîlnirea lor de mai tîrziu cu industria sau cu practica agricolă.

Pornind de la aceste considerente, am ales pentru ultima ședință a cercului de chimie cu elevii claselor a IX-a (trimestrul III) tema „*Îngrășămintele chimice și rolul lor în dezvoltarea agriculturii.*

În acest cadru am efectuat lucrarea practică :

Analiza calitativă a îngrășămintelor metode rapide de identificare a principalelor îngrășăminte.

După un scurt referat de 15 minute care a prezentat un material bine sistematizat, legat de clasificarea mai amplă a îngrășămintelor, de proprietățile lor și de industria de îngrășăminte din țara noastră, am trecut la lucrarea practică care a durat o oră și jumătate. Ea a urmărit să consolideze deprinderea de a mînui aparatura de laborator dar să și deschidă în același timp noi orizonturi spre ramuri ale științei ca : agrochimia și biochimia. Astfel să apară clar elevilor că dezvoltarea agriculturii nu poate fi concepută fără sprijinul chimiei.

Rolul acestor analize chimice în agricultură, elevii l-au putut observa atît din punct de vedere teoretic, cît și din punct de vedere practic, prin executarea acestor analize elementare. Analiza chimică de îngrășăminte fiind cerută de practica de zi cu zi, de exemplu : cazul cînd din condiții de transport se pot pierde etichetele ambalajelor și astfel unele îngrășăminte se pot confunda și de aceea trebuie urgent identificate.

Indicații

Ne vom limita să prezentăm în cele ce urmează cîteva lămuriri și măsuri de care am ținut seamă la organizarea și efectuarea în bune condiții a acestei lucrări practice.

S-a plecat de la o clasificare a metodelor folosite ținîndu-se seamă de compoziția și solubilitatea lor, deoarece se pot identifica la fel ca orice substanță prin metodele pe cale umedă și pe cale uscată, așa cum a reeșit din schema (1).

Elevii au lucrat independent folosindu-se de scheme scrise pe tablă (sau prezentate sub formă de planșe) și îndrumătoarele care descriu amplu metodele de lucru. Îndrumătoarele au fost date elevilor cu cîteva zile înainte de ședință, pentru studiu și înapoiate cu o zi înaintea lucrării.

Profesorul, conducătorul cercului, a dat lămuririle necesare înaintea ședinței și în timpul ședinței.

Lucrarea s-a desfășurat în două etape :

1. *Etapa I-a de studiu* acestor metode de recunoaștere a îngrășămintelor chimice : (îndrumătorul I).

2. *Etapa II-a de fixarea* cunoștințelor și consolidarea lor (îndrumătorul II).

Toate acestea urmărind formarea simțului de răspundere la elevi și dragostea de a cunoaște adevărul, de a cerceta.

Etapa I-a. Studiul metodelor și identificarea, s-a făcut prin executarea de către elevii cercului a reacțiilor de recunoașterea îngrășămintelor după îndrumătorul dat (I), notînd observațiile respective pe caiete.

Etapa II-a. Fixarea și consolidarea cunoștințelor, s-a realizat prin analiza care îi aștepta pe masa de lucru (ultima eprubetă din primul rînd al stativului, cu nr. 4) și care le-a dat primele emoții ale unei astfel de lucrări.

Am ținut seamă de faptul că elevii au căpătat unele deprinderi în munca de laborator, cu ocazia analizelor efectuate în ședința anterioară de cerc, de exemplu : identificarea anionilor.

Analiza de îngrășăminte s-a făcut tot prin eliminare, avînd un singur îngrășămînt de identificat, după îndrumătorul (II).

Necesarul de ustensile, materiale și soluțiile de reactivi, au fost pregătite de profesor și laborant, înaintea ședinței de cerc.

Fiecare elev și-a găsit locul de muncă organizat, în perfectă ordine. Astfel, am căutat să imprimăm elevilor din primul moment, disciplina în muncă de care trebuie să dea dovadă în timpul lucrării.

Pe stativul cu eprubete se găsesc probele pentru studiu notate cu No : (1, 2, 3) și proba de analizat notată (No 4) (Vezi schema 1).

În concluzie pe masa de lucru erau pregătite :

1. — trusa de lucru și inventarul ei sub formă de schemă (1)
2. — cele două îndrumătoare (I, II)

Elevii au fost obligați la sfîrșitul lucrării să lase locul unde au lucrat, curat și în ordine perfectă.

În continuare, vom prezenta cele două îndrumătoare (I, II) de care -sau folosit elevii în executarea lucrării practice precum și unele scheme completare.

Credem că elevii au reușit să-și însușească anumite deprinderi importante în ceeace privește munca de laborator executînd această lucrare, deoarece ei au fost puși în contact cu metode pur analitice cum sînt cele pe cale uscată și pe cale umedă, frecvent folosite în laboratoarele de cercetare și industriale. Dacă cu metodele pe cale umedă, au mai avut posibilitatea de a lua contact cît de cît, dar, cele pe cale uscată nu le cunoșteau deloc.

Prin intermediul acestor lucrări au cunoscut și folosit reacțiile la flacără, pe cărbune încins etc. Dîndu-și astfel seama că proprietățile fizice și chimice au nu numai importanță pentru industrie dar și pentru chimia analitică unde se urmărește recunoașterea și dozarea substanțelor chimice. Deși elevii se află în clasa IX-a, deci la începutul liceului, considerăm că deprinderea de a munci în laborator, trebuie formată de la primele clase și nu în ultimele.

Menționăm că la lucrările cercului participă elevii buni și foarte buni, cu afecțiune deosebită pentru chimie, au cunoștiințe mai multe, mai temeinice, mai sistematizate și doresc să știe mai mult, să afle lucruri noi.

Identificarea rapidă a principalelor îngrășăminte chimice

În general îngrășămintele care se găsesc sub formă de cristale sînt de cele mai multe ori solubile în apă iar, cele amorfe sînt mai puțin solubile sau insolubile.

Se va începe recunoașterea substanțelor prin metodele pe cale uscată și apoi se va trece la metodele pe cale umedă cu reactivi chimici (folosirea lor este menționată în schema cu inventarul), Se va ține seama de clasificarea îngrășămintelor chimice.

Modul de lucru — Îngrășăminte cu azot

Se iau pe rînd toate probele pregătite din stativ, începînd cu cele notate cu nr. (1) și care fac parte din îngrășămintele cu azot (vezi schema cu inventarul)

NH_4NO_3, $NaNO_3$, KNO_3, $(NH_4)\ SO_4$, uree

Azotatul de amoniu (NH_4NO_3) se prezintă :

— culoare albă, pe cărbune încins, arde cu o flacără incoloră, se topește, fierbe și produce fum alb, miros de amoniac.
— cu NaOH degajă amoniac

$$(NH_4NO_3 + NaOH = NaNO_3 + \overset{\nwarrow\ \nearrow}{NH_4\quad OH}) \qquad \begin{matrix} NH_3 & H_2O \end{matrix}$$

— cu azotatul de argint nu dă precipitat
— cu clorura de bariu nu dă precipitat dar apare o tulbureală care se dizolvă în exces de acid.

Azotatul de sodiu ($NaNO_3$)

— se prezintă sub formă de cristale mari umede (hidroscopice)
— pe cărbune încins explodează, arde cu zgomot
— colorează flacăra în galben oranj
Nu dă precipitat cu NaOH, nici cu $BaCl_2$, nici cu $AgNO_3$

Azotatul de potasiu KNO_3

— se comportă la fel cu $NaNO_3$ (azotatul de sodiu)
— se deosebește ca aspect (cristale mici, uscate)
— culoare la flacără, violet.

Azotatul de calciu

— se topește pe cărbune încins devine incandescent și arde. După ardere lasă un rezidiu (rest), de culoare albă care este varul.
— cu NaOH nu dă nimic
— cu $AgNO_3$ nu dă precipitat, dar dă o tulbureală.

$(NH_4)_2SO_4$ — *sulfatul de amoniu*

Se aseamănă la aspect cu NH_4NO_3 și cu K_2SO_4
— pe cărbune încins degajă amoniac
— cu NaOH la cald dă amoniac (astfel se deosebește de K_2SO_4)
— cu $BaCl_2$ dă precipitat abundent (deosebște de NH_4NO_3) după reacție.

$$(NH_4)_2SO_4 + BaCl_2 = BaSO_4 + NH_4Cl$$

— Sulfatul de bariu este insolubil în acizi, se poate controla adăogîndu-se cîteva picături HCl. Ureea dacă se pune pe cărbune încins degajă NH_3, cu un hidroxid alcalin însă nu degajă acest gaz.

Îngrășăminte cu potasiu (sînt cele notate în stativ cu nr. (2) pe eprubete) KCl și sarea potasică.

Aceste îngrășăminte sînt solubile în apă, sînt cristalizate și nu dau reacții pe cărbune încins, ele rămîn neschimbate, nu ard și nu dau reacții caracteristice, prin aceasta se deosebesc de cele cu azot (excepție KNO_3).

Clorura de potasiu KCl — cristale mici albe uscate

— cu NaOH nu dă nimic
— cu $AgNO_3$ dă un precipitat alb, brînzos insolubil în HNO_3 dil. solubil în sol. NH_3

Sarea potasică (KCl cu săruri naturale de potasiu (silvinitkainit) 30—40% K_2O). Este de culoare albă în care se pot distinge particulele colorate ale sărurilor potasice adaogate.
— este higroscopică (umedă) prezintă aceleași reacții cu clorura de potasiu.

Îngrășăminte insolubile (sau puțin solubile)

— în această categorie intră îngrășăminte cu fosfor și cu calciu. Se găsesc în stativ cu nr. (3) pe eprubetă : superfosfat, fosfatul precipitat și ghipsul ca amendament.

Superfosfatul

— culoare cenușie deschis.
— miros specific
— cu HCl și $CH_3 - COOH$ (acid acetic) face puțină efervescență și puțină spumă
— din cauza acizilor liberi în suspensie apoasă înroșește imediat hîrtia de turnesol.

Fosfatul precipitat

— nu are miros
— praf fin de culoare albă
— tratat (stare solidă) cu $AgNO_3$ stratul superior se îngălbenește.

Ghipsul (amendament)

— are culoare albă
— este uscat
— cu HCl și $CH_3 - COOH$ face puțin efervescență și puțină spumă
— dacă se adaogă $AgNO_3$ îngrășămîntului solid, stratul superior nu se îngălbenește (spre deosebire de precipitat)

Analiza elementară de îngrășăminte chimice

Se va lucra pe baza celor două metode pe cale uscată și pe cale umedă (schema (2) Etapa I, II, III, IV)
Se observă cu atenție proba de analizat (cu nr. 4 pe eprubetă).
I. Începerea analizei se face determinînd mai întîi proprietățile fizice, culoare, miros, caracterul cristalelor, etc. Se reține o parte din substanța de analizat într-o eprubetă separat pentru control sau neajunsuri, restul substanței se folosește la analiza care va urma, luînd pentru fiecare probă cantități mici de substanță.

II. Se execută apoi proba la flacără și pe cărbune încins pentru a urmări :

— cum se colorează flacăra
— dacă face explozie
— dacă se produce degajare de fum alb
— dacă se degajă miros

(toate observațiile se notează pe caiete).

III. Se determină apoi solubilitatea substanței pentru aceasta se ia o mică cantitate de substanță, din substanța de analizat într-o eprubetă și se adaogă 6—10 ml apă.

Se agită, se stabilește gradul de solubilitate făcîndu-se o mică schemă

— complet solubil — dacă s-a dizolvat în întregime
— solubil — cînd s-a dizolvat jumătate din cantitatea luată
— puțin solubil — dacă se dizolvă mai puțin de jumătate
— insolubile cînd se menține în eprubetă cantitatea de substanță introdusă.

(Ținem seama că îngrășămintele cu azot și potasiu sînt solubile iar cele cu fosfor sau calciu puțin solubile sau insolubile).

IV. Trecem la ultima probă bazată pe *folosirea reactivilor chimici*

Îngrășăminte solubile (schema 3)

a) în cazul îngrășămintelor solubile soluția obținută la dizolvarea în apă (la determinarea probei de solubilitate) se împarte în trei eprubete curate. În fiecare eprubetă soluția de îngrășămînt se tratează cu unul din cei trei reactivi ce se întrebuințează în analiza îngrășămintelor chimice și anume :

— NaOH (hidroxidul de sodiu) pentru identificarea NH_4^+

Dacă printr-o ușoară încălzire se degajă amoniac (NH_3) rezultă că îngrășămîntul conține o sare de amoniu.

— $BaCl_2$ (clorura de bariu). Dacă se depune un precipitat alb, greu solubil care nu se dizolvă în HCl la fierbere — îngrășămîntul este o sare a acidului sulfuric — (*sulfat*)

— $AgNO_3$ (azotatul de argint) se folosește în primul rînd la identificarea clorurilor. HCl se mai pot identifica cu acest reactiv : H_2SO_4, sulfați, acidul fosforic, fosfați.

În cazul cînd există cloruri sau acidul clorhidric se formează un precipitat alb brînzos sensibil la lumină, insolubil în HNO_3 solubil în NH_3.

— cînd avem fosfați sau acid fosforic apare un precipitat galben
— cînd azotatul de argint a reacționat cu radicalul SO_4^{2-} cazul (sulfați sau H_2SO_4) se obține un precipitat alb, greu, care nu se brînzește și este mai puțin voluminos ca la tratarea cu $BaCl_2$, acest precipitat este solubil în multă apă.

Îngrășăminte insolubile

1. Se ia o mică cantitate din substanța de analizat solidă cu o linguriță și se adaogă cu pipeta cîteva picături de HCl sau $CH_3 — COOH$, reacțiile cu efervescență sau cu spumă ne dau indicații.

Dacă avem un carbonat de calciu sau sulfat de calciu se vor produce intens, dacă se produc cu puțină efervescență sau puțină spumă poate fi în analiză ghipsul, superfosfatul sau precipitatul. Recunoașterea ultimelor trei săruri se va face prin reacții suplimentare.

INVENTARUL TRUSEI

Folosirea reactivilor

A. PROBELE DE ÎNGRĂŞĂMINTE (în ordinea care se află aşezate în eprubete din stativ).

Grupa I-a	Îngrăşăminte solubile 1.		Grupa II-a	Îngrăşăminte insolubile	
	Îngrăşăminte cu N_2	2. Îngrăşăminte cu K.		3. Îngrăşăminte cu fosfor, cu calciu	4. Substanţe de analizat
	$NH_4\ NO_3\ Ca(NO_3)_2$ $NaNO_3$ $K\ NO_3$ $(NH_4)_2\ SO_4$, uree	KCl sau potasică		— superfosfat fosfatul precipitat ghipsul (amendamente ce serveşte la cercetarea reacţiei solului)	

B. APARATURA DE LABORATOR

1. Sursa de căldură — bec Teclu
2. Cărbune pentru reacţie pe cale uscată
3. Spatulă
4. Baghetă de sticlă
5. Stativ cu epruete
6. Pahar Berzelius
7. Cleşte metalic
8. Pahar Erlenmayer
9. Hîrtie de turnesol
10. Pipetă

C. REACTIVI CHIMICI	a) Îngrăşăminte solubile	b. Îngrăşăminte insolubile
Folositi în cadrul : a. — Îngr. solubile b. — Ingr. insolubile	sol. NaOH — hidroxid de sodiu sol. $BaCl_2$ — clorură de bariu sol. $AgNO_3$ — azotat de argint	sol. CH_3 — COOH — acid acetic sol. HCl — acid clorhidric
D. FOLOSIREA REACTIVILOR :	sol. NaOH pe jumătate faţă de sol. îngrăş. (20 %—30 %) sol. $BaCl_2$ şi $AgNO_3$ cîteva picături (2—3 picături)	acizii se adaogă încet astfel se ia 1/5—1/7 de linguriţă de îngrăşămînt şi se adaogă cîteva picături de acid.

METODE CHIMICE PE CALE UMEDĂ (îngrășăminte solubile)

SCHEMA (simplificată)

	Lucrarea efectuată	Reactivi folosiți	Aparatura de laborator	Reacțiile chimice	Rezultate și concluzii
1.	Recunoașterea ionului amoniu (sare de amoniu)	Sol NaOH (hidroxid de sodiu)	— eprubete — sursă de căldură	$NH_4NO_3 + NaOH = NaNO_3 + H_2O + NH_3\uparrow$ $(NH_4)_2SO_4 + 2NaOH = Na_2SO_4 + 2H_2O + 2NH_3\uparrow$	miros de amoniac
2.	Recunoașterea ionului sulfat (sulfați și acid sulfuric)	sol $BaCl_2$ (clorură de bariu) sol HCl	— eprubete — sursă de căldură	$(NH_4)_2SO_4 + BaCl_2 = \underset{\downarrow}{BaSO_4} + 2NH_4Cl$ $K_2SO_4 + BaCl_2 = \underset{\downarrow \text{ alb}}{BaSO_4} + 2KCl$	precipitat alb voluminos care nu se dizolvă în HCl la fierbere
3.	Recunoașterea ionului clor (cloruri, acid clorhidric)	sol $AgNO_3$ (azotat de argint) sol NH_3 sol HNO_3	— eprubete	$KCl + AgNO_3 = \underset{\downarrow \text{ alb brînzos}}{AgCl} + KNO_3$	precipitat alb brînzos sensibil la lumină în sol. în HNO_3 solubil în soluție NH_3

— avem — $CaSO_4$ — dacă la tratarea îngrășămîntului solid cu $AgHO_3$ stratul superior nu se îngălbenește

— avem precipitat dacă la tratarea îngrășămîntului solid cu $AgNO_3$ — stratul se îngălbenește.

— avem — superfosfat — dacă se produce o reacție acidă, care se constată în soluție cu turnesol sau cu hîrtie de turnesol umedă.

METODE FOLOSITE ÎN ANALIZĂ

A. *METODE PE CALE USCATĂ*	I. Determinarea proprietăților fizice	— culoare — miros — structură { — cristalină — amorfă
	II. Probe la flacără Comportarea cristalelor pe cărbune încins.	— culoare la flacără — explozie — degajare de fum — miros
B. *METODE PE CALE UMEDĂ*	III. Determinarea solubilității lor	— solubile : — complet solubile — solubile — puțin solubile — insolubile
	IV. Metode chimice. a) Îngrășăminte solubile. Reactivi cre conduc la recunoașterea ionilor din îngrășăminte.	$NaOH$ — identificarea cationului $BaCl_2$ — identificarea anionului SO_4^{-2} $AgNO_3$ principal — identificarea anionului Cl^- $AgNO_3$ secundar — identificarea anionului PO^{3-} SO^{2-}
	b) Îngrășăminte insolubile Reactivii folosiți	$CH_3 - COOH$ Reacții cu efervescență HCl și reacții cu spumă

MODIFICAREA CARACTERISTICILOR ELECTRICE ALE ELEMENTULUI GRENET SUB ACȚIUNEA ULTRASUNETELOR

ILIE GAVRILA Lect. univ. *BRAȘOV*

Elementele galvanice au o utilizare largă în diferite ramuri ale tehnicii : în telecomunicații, la instalațiile de semnalizare, în laboratoare pentru furnizarea unui curent electric riguros constant, necesar pentru anumite cercetări științifice.

Funcționarea în bune condiții a unui element galvanic, debitarea unor curenți de intensități sau tensiuni ridicate, constituie o importanță deosebită.

Mulți cercetători [1] caută pe diferite căi îmbunătățirea caracteristicilor electrice ale elementelor galvanice. În ultimul timp s-a obținut îmbunătățirea unor parametri de funcționare sub acțiunea ultrasunetelor [2].

Se constată că efectele ultrasunetelor care au loc în special în interiorul bulelor de cavitație [4], dau naștere unor particule de energie excedentară, (molecule ionizate, ioni sau radicali liberi), care duc la accelerarea anumitor reacții chimice. Cum caracteristicile electrice ale elementului Grenet (intensitatea, tensiunea de la borne, capacitatea) depind de reac-

ţiile care au loc, evident că acţiunea ultrasunetelor poate să producă modificarea acestora datorită tocmai apariţiei acestor particule de energie excedentară.

În cadrul cercetării experimentale a lucrării de faţă, s-a folosit un generator ultrasonic „Tesla" cu frecvenţa 1 MHz.

Soluţia elementului a fost iradiată în condiţii identice, la diferite intensităţi ultrasonice şi timpi de iradiere. După două zile de la iradiere s-au efectuat măsurători ale diferitelor mărimi caracteristice, folosindu-se ca element de referinţă, un element Grenet a cărui soluţie n-a fost iradiată. Condiţiile de măsurare au fost identice atît pentru elementele de cercetat cît şi pentru cel de referinţă.

Elementele au fost scurtcircuitate cu rezistenţe exterioare de 0,3Ω şi 2Ω, măsurarea t.e.m. în circuit deschis s-a făcut prin metoda compensaţiei iar căderea de tensiune de la borne cu ajutorul unei scheme simple . Bornele AB servesc pentru conectarea elementului în circuitul pentru determinarea t.e.m. prin metoda compensaţiei.

Din cercetările experimentale se constată că, curbele de descărcare ale elementului Grenet tratat ultrasonic au valori mai ridicate decît ale elementului de refrinţă netratat ultrasonic. Aceste valori depind de intensitatea ultrasonică, tensiunea de la borne (diferenţa dintre potenţialele electrozilor elementului cînd elementul este scurtcircuitat printr-o rezis-

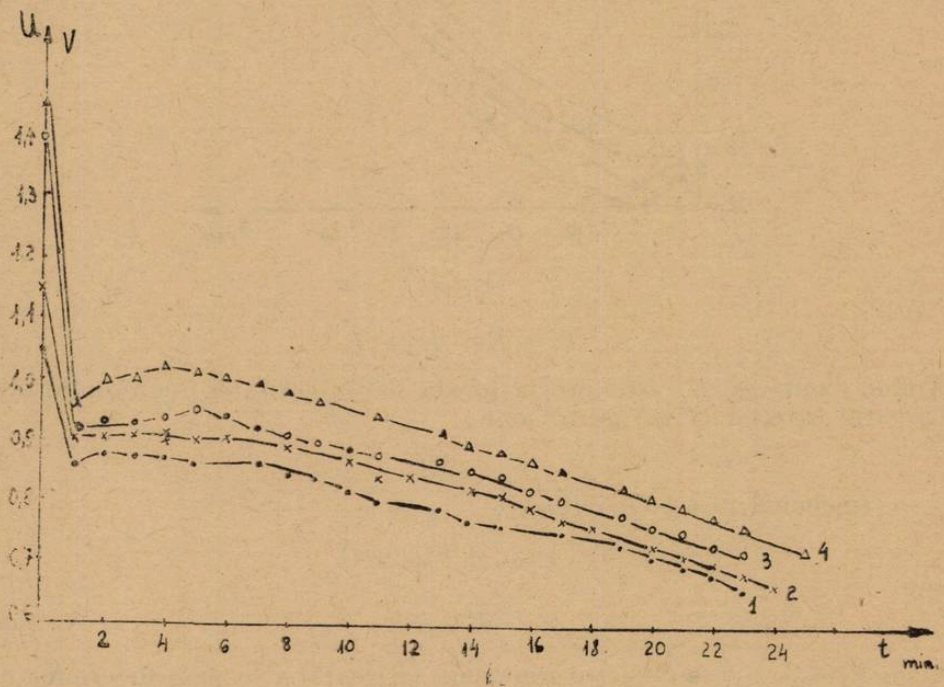


Fig. 1

tenţă exterioară) variind în funcţie de timp cu valori mai ridicate la elementele tratate ultrasonic în comparaţie cu cea a elementului de referinţă. Curbele de descărcare [$U = f(t)$] ale elementelor Grenet ale căror soluţii au fost supuse acţiunii ultrasonice, au valori mai ridicate faţă de curba de descărcare a elementului de referinţă (fig. 1 linia 1). În timpul scurtcir-

cuitării tensiunea de la borne se menține la valori mai mari, cu cît soluția a fost expusă la un fascicul ultrasonic mai intens. (Linia 2 corespunde elementului iradiat cu un fascicul de intensitate 4 $\frac{W}{cm^2}$, linia 3 corespunde elementului tratat cu un fascicul ultrasonic de 7,6 $\frac{W_2}{cm^2}$ și linia 4, unui element tratat ultrasonic cu o intensitate de 9 W cm^2 (fig. 1). Experimental se constată că valorile mai ridicate ale curbelor de descărcare pentru elementele Grenet tratate ultrasonic, se datoresc în special micșorării rezistenței aparente.

Se știe că tensiunea electromotoare a unui element galvanic se consumă pentru : învingerea rezistenței interioare (r), compensarea t.e.m. de polarizație (E). Tensiunea de la borne este deci diferența :

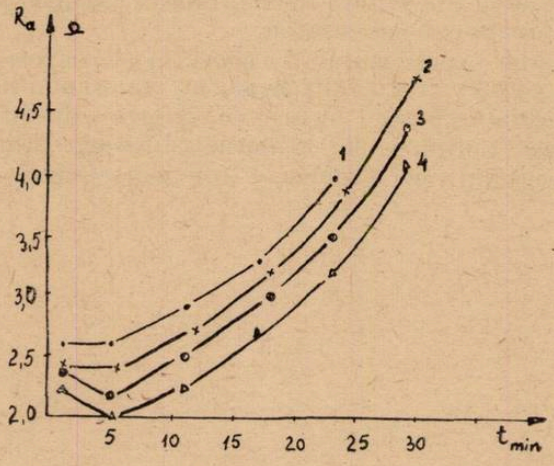


Fig. 2

$$U = E - E_p - I_r \tag{1}$$

Ținînd cont că E_p este proporțională cu intensitatea curentului din circuitul exterior (I) se poate scrie :

$$E_p = k\,I \tag{2}$$

Înlocuind în (1) se obține :

$$U = E - I\,(k + r)$$

sau

$$U = E - IR \tag{3}$$

unde $R_a = k + r$ se numește rezistență aparentă, și se poate determina cu ajutorul formulei (3) :

$$R_a = \frac{E - U}{I} = \frac{R_e}{U}(E - U) \tag{4}$$

Din cercetările experimentale efectuate se constată că rezistența aparentă a elementelor Grenet, ale căror soluții de electrolit au fost iradiate

inițial cu ultrasunete, se micșorează menținîndu-se în timpul descărcării printr-o rezistență exterioară constantă,mai mică decît aceeași rezistență a elementului de referință. Aceste valori depind de intensitatea ultrasunetelor folosite. În fig. 2 liniile 2, 3, 4 reprezintă variațiile rezistenței aparente în timpul descărăcării ($R_e = 2\Omega$) a elementelor iradiate cu intensități ultrasonice de 4 ; 7,6 și 9 $\frac{W}{cm^2}$. Linia 1 este variația rezistenței aparente a elementului de referință la descărcarea în aceleași condiții. Dependența rezistenței R_a de intensitatea ultrasonică este reprezentată mai evident în fig. 3. În timpul scurtcircuitării unghiul de înclinație a curbelor se micșorează.

Din măsurători se constată că rezistența interioară a tuturor elementelor Grenet variază practic cu valori egale în timpul scurtcircuitării.

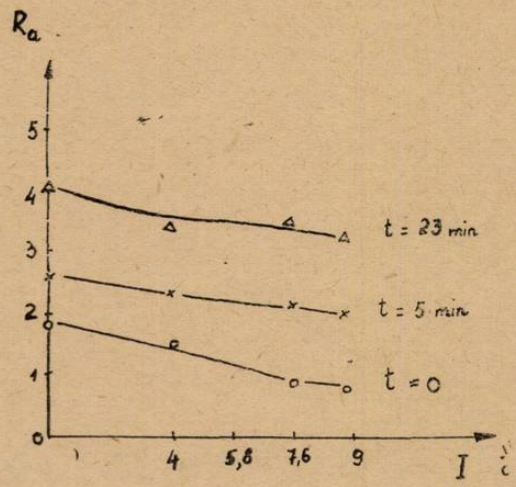


Fig. 3

De asemenea t.e.m. a cestor elemente sînt cuprinse între 1,998—2,001 volți, erorile de măsurare nedepășind $\pm$ 0,005.

Făcînd diferența ΔR_a (dintre rezistența aparentă a elementului de referință și cea a elementului asupra căruia s-a acționat cu o anumită intensitate ultrasonică) la diferite momente ale scurtcircuitării cu $R_e = 0{,}3\Omega$ și această diferență în cazul scurtcircuitării ci $R_e = 2\,\Omega$ se constată că $\Delta R_a < \Delta R'_a$ (pentru $t = 0$, $\Delta R_a = 3\Omega$, $\Delta R'_a = 0{,}3\Omega$ pentru t = 17 min. $\Delta R_a = 3{,}6\Omega$, $\Delta R'_a = 0{,}7\ \Omega$, etc.).

Acestea dus la concluzia că efectele ultrasonice acționează asupra micșorării fenomenului de polarizație.

Capacitatea elementelor tratate ultrasonic crește cu intensitatea ultrasonică. Notînd cu C_0 capacitatea în amperi ore a elementului de referință, cu C_{I1}, C_{I2}, C_{I3} capacitățile elementelor de cercetat se poate scrie relația

$$C_0 < C_{I1} < C_{I2} < C_{I3}$$

unde I este intensitatea ultrasonică exprimată în $\frac{W}{cm^2}$ și $I_1 < I_2 < I_3$ (tabel 1).

Tabel 1

Capacitatea în amperi ore a elementelor Grenet scurtcircuitate cu $R = 2\,\Omega$ timp de 20 minute				
neiradiat	$I_1 = 4\ \frac{W}{cm^2}$	$I_2 = 7{,}6\ \frac{W}{cm^2}$	$I_3 = 9\ \frac{W}{cm^2}$	Intensitatea ultrasunetului
0,153	0,159	0,167	0,177	Capacitatea în A.h.

Variația relativă a capacității elementelor (Cr) crește cu intensitatea ultrasonică ajungînd la valori însemnate la intensități mai mari (fig. 4).

Se constată de asemenea că se produc variații crescătoare ale capacității elementelor Grenet și atunci cînd se iradiază cu ultrasunete apa distilată care intră apoi în componența soluției elementului respectiv.

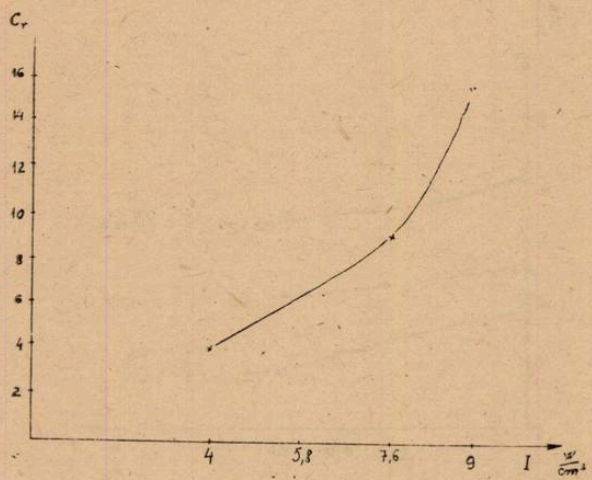


Fig. 4

Concluzii

1. Ultrasunetele produc o îmbunătățire a carcateristicilor electrice ale elementelor galvanice care se manifestă atît prin menținerea unei tensiuni de descărcare mai ridicate, cît și prin mărirea capacității de debitare de curent, care se păstrează timp îndelungat după încetarea iradierii.

2. Efectele ultrasonice se manifestă în special prin micșorarea t.e.m. de polarizație, datorită apariției unor atomi și molecule excitate.

3. Descompunerea apei în atomi de H și în radicali OH, contribuie de asemenea, dar în mică măsură, la modificarea parametrilor de funcționare ai elementelor galvanice.

BIBLIOGRAFIE

1. *V. G. Socevanov* : Elemente galvanice (traducere din limba rusă) Edit. energetică de stat 1953.
2. *I. Gavrila, N. Ionașcu* : Studiul variației t.e.m. a elementelor Leclanché și Grenet iradiate cu ultrasunete Electrotehnica, N° 2, 1967, p. 65—69.
3. * * Elemente și baterii galvanice. Editura tehnică 1951.
4. *M. Stan, L. Malei* : Efecte fizice și chimice ale ultrasunetelor. Metode ultrasonice de măsură și control vol. IV, 1965 Acad. R.S.R.
5. *M. Guillon* : Repartitions couplées du potentiel et des concentrations dans les cellules electrochimiques. Annales de physique Tome 8, 1963, p. 531.

CU PRIVIRE LA PREDAREA CUNOȘTINȚELOR DE METROLOGIE

Conf. *ARCADIE SZÁNTO* I.P.C.D. Cluj

Studiul cantitativ al fenomenelor fizice se bazează pe măsurări. Utilajele de măsurare constituite pe baza unor principii fizice bine determinate, completează simțurile noastre și mijlocesc informații chiar și despre fenomenele nesesizabile direct prin simțuri, ca de exemplu radiațiile invizibile cu ochiul, cîmpurile fizice etc. În prezent în orice domeniu de activitate științifică sau tehnică măsurarea are un rol hotărîtor. Știința și tehnica modernă impun nu numai efectuarea măsurării unui număr mare de mărimi, ci și obținerea unei precizii cît mai mari la măsurarea acestora.

Progresul științelor fizice este strîns legat de dezvoltarea tehnicii măsurării, de perfecționarea mijloacelor și metodelor de măsurare.

Varietatea și mulțimea măsurărilor, a aparatelor de măsură, a metodelor de măsurare, problemele pe care le ridică prelucrarea rezultatelor măsurărilor precum și volumul mare de cunoștințe speciale legate de măsurări, au determinat formarea unei discipline speciale — metrologia-știința măsurărilor. Aceasta are ca obiective principale : stabilirea sistemelor de mărimi și unități, realizarea în concret a unităților de măsură, elaborarea metodelor de măsurare și stabilirea preciziei rezultatelor, analiza cauzelor care influențează rezultatele măsurărilor.

Oglindirea noilor cuceriri ale fizicii, a metodelor de cercetare științifică în cunoștințele predate în școala de cultură generală este o cerință fundamentală impusă predării fizicii. Ea se referă și la cunoștințele care stau într-o strînsă legătură cu unul dintre instrumentele de bază ale cercetărilor fizice, măsurarea.

Însușind un sistem de cunoștințe de fizică, elevii trebuie să-și însușească și elementele de bază ale metrologiei, cunoștințe temeinice despre sistemul de mărimi și unități adoptat în știință și tehnică, cunoștințe teoretice privitoare la măsurări, să-și formeze deprinderi pentru efectuarea corectă a măsurărilor și analiza rezultatelor acestora.

Experiența arată că predarea sistemului de mărimi și unități internațional (S.I.) are loc cu rezultate satisfăcătoare. Profesorii de fizică au înțeles importanța și necesitatea introducerii acestui sistem și procedează consecvent în aplicarea lui. Tendința folosirii corecte a S.I. se oglindește în manualele și culegerile de probleme de fizică editate în ultimii ani. Se observă un progres simțitor și în efectuarea lucrărilor de laborator prevăzute de programe, cantitatea și calitatea lucrărilor efectuate crescînd în continuu. În felul acesta sînt create condiții favorabile pentru ca elevii să-și însușească elementele metrologice de bază.

Unele elemente metrologice, printre care în primul rînd calculul erorilor, va trebui să fie incluse în manuale. Considerăm că este pe deplin justificată și bine venită propunerea făcută la Consfătuirea Societății fizice și chimice ținută la Galați (1967), prin care se solicită ca în manuale „La lucrările de laborator să se dea elemente de calcul al erorilor"[1].

Datorită conținutului și metodelor de lucru, lucrările de laborator constituie cadrul care permite predarea cunoștințelor metrologice de bază, fără să fie nevoie de introducerea în programă a unor teme noi.

„În orele speciale destinate lucrărilor de laborator — prevede programa — se pot desfășura și alte activități cu caracter aplicativ ca rezol-

[1]) Revista de fizică și chimie, Seria A, vol. IV. nr. 11. noiembrie 1967, pag. 439.

vări de probleme legate de lucrările prevăzute de programă sau care cer o aprofundare a chestiunilor teoretice, ... la clasele reale se pot cerceta pe scurt unele dezvoltări teoretice sau aplicative cu importanță deosebită"[2] Cum se vede, orele de laborator pot fi organizate astfel ca, rămînînd în cadrul programei, să se introducă cunoștințe teoretice privitoare la măsurări.

Programa școlii de cultură generală prevede un număr considerabil de lucrări cantitative, care au ca scop măsurarea unor mărimi fizice. Lucrările de laborator, ca : Măsurarea lungimilor (cl. a VI-a); Cîntărirea corpurilor cu balanța (cl. a VI-a); Măsurarea intensității și a tensiunii (cl. a VII-a); Determinarea coeficientului de frecare (cl. a IX-a); Determinarea accelerației gravitaționale cu ajutorul pendulului fizic (cl. a X-a); Măsurarea rezistențelor (cl. a XI-a) etc. fac parte din această categorie de lucrări.

Lucrările de laborator citate precum și altele din categoria „Lucrări de măsurare a unor mărimi fizice" constituie un material concret pentru introducerea, adîncirea și aplicarea unor cunoștințe privitoare la măsurări, metodele de măsurare, aprecierea (prelucrarea) rezultatelor, calculul erorilor etc.

Elementele măsurării și calculul erorilor trebuie să fie introduse treptat, începînd cu clasa a VI-a. Astfel, noțiunilor : măsurare, aparat (mijloc) de măsurat, măsurarea directă, măsurarea indirectă, eroare, precizia măsurării etc. se introduc la primele lucrări de laborator. De pildă, noțiunea de măsurare directă se introduce la lucrarea „măsurarea lungimilor", cea de măsurare indirectă se formează la lucrarea „Determinarea densității unui corp solid cu cilindrul gradat". Introducînd noțiunea de eroare se arată că măsurările efectuate asupra aceleiași mărimi dau rezultate diferite, chiar dacă ele au fost efectuate în condiții identice cu același aparate de măsurat și de către același observator ; astfel, la fiecare măsurare se comite o eroare, obținînd numai o valoare apropiată de valoarea (adecvată) a mărimii măsurate. Importanța efectuării unui număr mai mare de măsurări asupra aceleiași mărimi și metode de calcul al rezultatului mediu, aplicînd formula :

$$X_{med} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots + x_n}{n}, \qquad (1)$$

va trebui să fie prezentate, de asemenea, la primele lucrări.

Mai tîrziu cînd elevii și-au însușit la matematică noțiunea de limită, revenind la formula (1) se poate introduce o nouă noțiunea metrologică strîns legată de valoarea medie (X_{med}) și anume valoarea cea mai probabilă (X_p) a mărimii măsurate definită ca limita către care tinde media aritmetică (X_{med}) a unui șir de valori X_1, X_2, $X_3 \ldots X_n$ obținută prin a măsurări succesive executate în același condiții asupra mărimii X cînd n este foarte mare,

$$\lim X_{med} = \lim_{n \to \infty} \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots + x_n}{n} = X_p \ldots \qquad (2)$$

Se arată că $X_{med} \approx X_p$,

dacă se efectuează practic un număr mare de măsurări.

Lucrările, „Măsurarea intensității curentului" și „Măsurarea tensiunii", la clasa a VII-a, permit formarea unor noțiuni importante metrolo-

[2]) Programa de fizică pentru clasele IX-XI ale liceului de 12 ani (1967)

gice, cum sînt : clasă de precizie (C) și eroarea maximă posibilă a oricărei măsurări efectuate cu aparatul dat pe scara respectivă. Clasa de precizie se arată concret pe un aparat de tip școlar, de pildă voltmetru (C = 2,5), și se explică semnificația indicelui de clasă, marcat pe cadranul aparatului : cifra 2,5 reprezintă eroarea de indicație maximă pe care o prezintă aparatul de măsurat în oricare din punctele scării sale, dată în valoare absolută, raportată la domeniul de măsurare (12 V) și exprimată în procente

$$2{,}5 = \frac{|\Delta U|_{max}}{12}\ 100 \tag{3}$$

Se generalizează formula (3), notînd cu (C) indicele de clasă, cu X_n domeniul de măsurare și cu $|\Delta X|_{max}$ eroarea de indicație pentru mărimea X :

$$C = \frac{|\Delta X|_{max}}{X_n}\ 100 \tag{4}$$

Din (4) se deduce relația :

$$\pm X_{max} = \frac{C}{100}\ X_n \tag{5}$$

Relația (5) se aplică ca exercițiu voltmetrului școlar și se obține :

$$\pm \Delta U_{max} = \frac{2{,}5}{100}\ 12$$

$$\Delta U_{max} = \pm\ 0{,}30\ \text{V} \tag{6}$$

Se interpretează rezultatul (6) cu ajutorul unui exemplu numeric luat din măsurările elevilor, de pildă $X_n = 5\text{V}$ și se obține :

$$(4{,}70 < U < 5{,}30)\ \text{V}$$

În a doua etapă a predării fizicii (cl. IX—XII) se adîncesc cunoștințele de metrologie însușite în prima etapă și se predau noi cunoștințe legate de măsurări.

Revenind la erorile de măsurare se generalizează noțiunea de eroare absolută și se introduce noțiunea de eroare relativă. Se arată că eroarea absolută se definește ca diferența X între valoarea măsurată x a mărimii de măsurat și valoarea adevărată (exactă) a acestei mărimi, adică :

$$X = x_n - x \tag{7}$$

Trebuie precizat că valoarea adevărată (X) nu poate fi cunoscută practic. De aceea în locul acestei valori se consideră valoarea de referință (X_0) a mărimii măsurate, rezultată din măsurări efectuate cu mijloace mai perfecționate decît acelea folosite la obținerea lui x_m. De exemplu, la determinarea constantelor se poate considera drept valoare de referință valoarea indicată în tabelele de constante fizice. Drept valoare de referință poate fi acceptată media rezultatelor unui număr mare de măsurări, de pildă în cazul lucrărilor de măsurare efectuate frontal.

Se poate scrie deci

$$X = x_n - x_0$$

Trebuie arătat în continuare că eroarea absolută nu dă o informație suficientă asupra preciziei măsurărilor. O informație mai precisă se obține

raportînd eroarea absolută la valoarea de referință, obținînd astfel raportul:

$$\varepsilon = \frac{\Delta X}{x_0} = \frac{x_n - x_0}{x_0} \tag{9}$$

denumit eroare relativă (ε). Se precizează că eroarea relativă este o mărime fără dimensiuni și se exprimă uneori în procente, în care caz formula (9) devine:

$$\varepsilon = \left| \frac{x_m - x_0}{x_0} \right| 100\ \% \tag{10}$$

Cazuri frecvente de măsurare sînt acelea cînd măsurarea unei mărimi se face indirect, măsurînd direct acele mărimi care se găsesc într-o dependență (relație) funcțională cu mărimea de măsurat. La lucrările de laborator cu temele: Determinarea densităților, Determinarea coeficientului de frecare, Măsurarea rezistențelor (metoda punții, metoda ampermetrului și voltmetrului), Determinarea echivalentului electrochimic, Măsurarea distanțelor focale etc. se aplică metoda măsurării indirecte. Efectuînd astfel de lucrări, elevii trebuie să calculeze erorile. Pentru efectuarea calculelor este necesară cunoașterea cîtorva formule de calcul.

Majoritatea mărimilor care se măsoară indirect fiind exprimată sub formă de produs, cît, putere sau rădăcină (de indice n) a unor mărimi care se măsoară direct, formulele pentru calculul erorilor relative se deduc în primul rînd pentru aceste cazuri.

Se consideră, de pildă, mărimea X legată de mărimile a, b prin relația:

$$X = a.b \tag{11}$$

unde X este mărimea de măsurat (indirect); iar a și b mărimile măsurate direct.

Mărimile a, b fiind afectate fiecare cu cîte o eroare Δa, Δb mărimea X va fi și ea relația afectată de o anumită eroare X. Astfel X devine:

$$X + \Delta X = (a + \Delta a)(b + \Delta b) \tag{12}$$

de unde se deduce:

$$\Delta X = a\,\Delta b + b\,\Delta a + \Delta a.\Delta b \tag{13}$$

sau

$$\frac{\Delta X}{X} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta a.\Delta b}{a.b.} \tag{14}$$

Ținînd seama că ultimul termen din relația (14) este mic în comparație cu ceilalți termeni, acesta se neglijează și se obține:

$$\frac{\Delta x}{x} \approx \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}, \tag{15}$$

ceea ce în mod convențional se scrie:

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}, \tag{16}$$

formulă pentru calculul erorii relative pentru cazul exprimat prin relația (11)

Formula (16) poate fi generalizată pentru mai mulți termeni și se obține :

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c} + \ldots + \frac{\Delta l}{l} \tag{17}$$

În mod analog pot fi obținute expersiile pentru calculul erorilor în cazurile :

$$x = \frac{a}{b}\,; \quad \frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} \tag{18}$$

$$x = a^n\,; \quad \frac{x}{x} = n\frac{a}{a} \tag{19}$$

$$x = \sqrt[n]{a}\,; \quad \frac{\Delta x}{x} = \frac{1}{n}\frac{\Delta a}{a} \tag{20}$$

În cazul lucrării „Determinarea accelerației gravitaționale cu ajutorul pendulului fizic" se aplică de pildă formulele (18), (19),

$$g = 4\,\pi^2 \frac{l}{T^2}$$

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta l}{l} + 2\,\frac{\Delta T}{T}.$$

Analiza metodelor de măsurare are deosebită importanță pentru cunoașterea condițiilor optime și a preciziei măsurării. Făcînd un studiu temeinic a măsurării în fiecare caz concret, se desprind concluzii importante cu privire la avantajele unor metode față de altele, cu privire la limitele de aplicabilitate ale acestora pentru obținerea rezultatelor cu maximă precizie. Profesorul poate folosi unele teme de lucrări cu scopul de a introduce elevii în analiza procedeelor (metodelor) de măsurare, de a arăta importanța practică a acestor analize.

În continuare aducem cîteva exemple ilustrative în această privință.

1. *Folosirea densimetrelor.* Această lucrare permite ca, folosind o caracteristică importantă a aparatelor de măsură — sensibilitatea (σ) să se studieze limitele de măsurare a densimetrelor și condițiile de obținere a rezultatelor precise.

Noțiunea de sensibilitate este însușită de elevi la studiul balanței. Ea este întîlnită în continuare și la alte aparate de măsură.

La lucrarea de laborator citată se face uz de definiția sensibilității : sensibilitatea unui aparat este raportul dintre mărimea deplasării indicelui (I) și variația mărimii de măsurat (M) căreia îi corespunde acea deplasare :

$$\sigma = \frac{d\,I}{d\,M}. \tag{21}$$

În cazul densimetrelor dl = dl, dl fiind variația lungimii părții cufundate în lichid a tijei densimetrului, iar $dM = d\rho$, $d\,\rho$ fiind variația densității lichidului.

Astfel sensibilitatea densimetrului va avea expresia :

$$\sigma = \frac{d\,k}{d\,\rho} \tag{22}$$

Se consideră cazul unui densimetru pentru determinarea densității lichidelor mai grele decît apa.

Introducem notațiile :

G = greutatea densimetrului
V = volumul (total) al densimetrului
V_c = Volumul corpului densimetrului (fără tijă)
V_t = Volumul tijei
l = lungimea tijei cufundată în lichid, socotită de la reperul scării gradate
S = aria secțiunii tijei
ρ = densitatea lichidului.

Conform principiului lui Arhimede avem :

$$G = (V_c + V_t)\,\rho\, g \tag{23}$$

sau

$$G = (V_c + lS)\,\rho\, g$$

de unde :

$$= \frac{G - V_c\,\rho\, g}{S\,\rho\, g} = \frac{G\,l}{S\,g\,\rho} - \frac{V_c}{S} \tag{24}$$

Deoarece

$$\frac{G}{Sg} = K = \text{const} \text{ și } \frac{V_c}{S} = K' = \text{const}$$

rezultă :

$$l = \frac{K}{\rho} - K' \tag{26}$$

ceea ce reprezintă relația de gradare a densimetrului.

Sensibilitatea, conform relației (22) va fi :

$$\sigma = \frac{dl}{d\rho} = \frac{-k}{\rho^2} \tag{27}$$

Relația (27) arată că sensibilitatea densimetrului variază invers proporțional cu patratul densității lichidului în care este cufundat. Rezultă că, folosind același densimetru pentru toate lichidele uzuale pentru care $(0{,}6 < \rho < 2)\,10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$, precizia măsurării va fi diferită în funcție de densitatea lichidelor. Sensibilitatea la limita superioară a scării, potrivit formulei (27) este de circa 11 ori mai mare decît cea corespunzătoare limitei inferioare. Făcînd calculul, obținem : $\frac{\sigma_s}{\sigma_i} \approx 11$. Reiese deci că nu este avantajos a folosi același densimetru pentru măsurarea densității lichidelor la care densitatea variază mult. Pentru a realiza aproximativ aceeași valoare a sensibilității în cazul tuturor lichidelor trebuie să se construiască truse de densimetre, fiecare densimetru din trusă avînd un domeniu de măsurare mai restrînsă.

2. Relația erorii relative maxime posibile permite să se tragă concluzii cu privire la precizia unor aparate de măsurat într-un domeniu de scară.

Fie X valoarea mărimii măsurate.

Potrivit relației (5) eroarea relativă maximă pentru această mărime va fi :

$$\left|\frac{\Delta X}{X}\right|_{max} = \varepsilon_{max} = \frac{|\Delta X|_{max}}{X_m} \cdot 100 = C\frac{X_m}{X_n} \tag{28}$$

Relația (28) dă indicații asupra preciziei măsurării cu aparatul dat care are limita de măsurare X_m. Observăm că

$$a)\ \varepsilon_{max} \to C \quad \text{pentru } X_m \to X_n$$
$$b)\ \varepsilon_{max} \to \infty \quad \text{pentru } X_m \to 0$$

ceea ce arată că un aparat de clasă dată este cu atît mai precis cu cît indică mai aproape de limita superioară de măsurare.

Rezultatul poate fi concretizat pentru ampermetrul și voltmetrul de tip școlar.

3. Determinarea rezistenței unui rezistor prin metoda ampermetrului și voltmetrului [1])

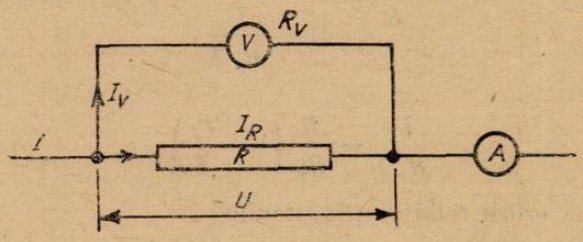


Fig. 1

După cum se știe măsurarea se poate realiza

a) *în montaj aval* în care voltmetrul este conectat la bornele rezistorului a cărui rezistență vrem s-o măsurăm ;

b) în *montaj amonte* în care voltmetrul se conectează la bornele (capetele) sistemului format din rezistor și ampermetru, legate în serie.

Vom analiza condițiile de măsurare în cazul montajului aval (fig. 1)

Aplicînd legea lui Ohm și prima teoremă a lui Kirchoff avem :

$$R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{U}{I - I_V} = \frac{U}{I\dfrac{U}{R_V}} \tag{29}$$

sau

$$R = \frac{R_V U}{R_V I - U} \tag{30}$$

Potrivit montajului sînt îndeplinite condițiile $R_V > 0$ și $I_V < I$, la care mai adăugăm $R < R_V$

*) Vezi : Fizica, manual pentru clasa a XI-a liceu, secția reală, pag. 61. ed. 1967.

Relația (30) este de forma :

$$R = \frac{a}{b} \text{ unde } a = R_V\, U \text{ și } b = R_V\, I - U$$

Calculăm expresia erorii relative, aplicînd formula (19)

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$$

Avem :

$$\Delta a = R_V\, \Delta U\,; \quad \Delta b = R_V\, \Delta I + \Delta U$$

Se obține deci :

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta U}{U} + \frac{R_V\, \Delta I + \Delta U}{R_V\, I - U}. \tag{31}$$

Din relația (31) după unele transformări rezultă :

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\dfrac{\Delta U}{U} + \dfrac{\Delta I}{I}}{1 - \dfrac{U}{R_V\, I}}. \tag{32}$$

Însă :

$$\frac{U}{R_V\, I} = \frac{R}{R_V}\left(1 - \frac{I_V}{I}\right) \tag{33}$$

și astfel expresia erorii relative (32) devine

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\dfrac{\Delta U}{U} + \dfrac{\Delta I}{I}}{1 - \dfrac{R}{R_V}\left(1 - \dfrac{I_V}{I}\right)} \tag{34}$$

Deoarece, $1 > \frac{I_V}{I} > 0$ rezultă că $0 < \left(1 - \frac{I_V}{I}\right) < 1$

și astfel : $\frac{R}{R_V}\left(1 - \frac{I_V}{I}\right) < 1.$

În felul acesta se poate aplica formula :

$$\frac{1}{1 -} = 1 + \alpha + \alpha^2 + \ldots$$

unde avem

$$\alpha = \frac{R}{R_V}\left(1 - \frac{I_V}{I}\right).$$

Se obține din (34)

$$\frac{\Delta R}{R} = \left(\frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I}\right)\left[1 + \frac{R}{R_V}\left(1 - \frac{I_V}{I}\right) + \left(\frac{R}{R_V}\right)^2\left(1 - \frac{I_V}{I}\right)^2 + \ldots\right.$$

sau aproximativ :

$$\frac{\Delta R}{R} \approx \left(\frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I}\right)\left(1 + \frac{R}{R_V}\right) \tag{35}$$

ceea ce se scrie convenţional

$$\frac{\Delta R}{R} = \left(\frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I}\right)\left(1 + \frac{R}{R_V}\right) \tag{36}$$

În această formulă $\frac{\Delta U}{U}$ şi $\frac{\Delta I}{I}$ sînt erorile relative maxime posibile de construcţie ale voltmetrului respectiv ale ampermetrului calculabile cu formele (28).

Formula (36) constituie expresia erorii relative maxime posibile a măsurării rezistenţei R.

Din examinarea formulei reiese că precizia măsurării în cazul unui ampermetru şi voltmetru dat este cu atît mai mare cu cît R (rezistenţa de măsurat) este mai mică. Metoda se aplică avantajos în cazul rezistenţelor mici.

In mod analog se poate analiza metoda în montaj aval, în care caz pentru eroarea relativă maximă posibilă se obţine expresia

$$\frac{\Delta R}{R} = \left(\frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I}\right)\left(1 + \frac{R_A}{R}\right) \tag{37}$$

unde R este rezistenţa ampermetrului.

Formula (37) arată că metoda măsurării rezistenţelor în montaj aval se aplică în mod avantajos în cazul măsurării rezistenţelor mari.

Exemplele citate, precum şi întreaga dezvoltare a cercetărilor experimentale din diferitele domenii ale fizicii arată necesitatea unei îmbinări juste a tehnicii măsurărilor şi a teoriei care stă la baza acestei tehnici. Rolul cunoştinţelor teoretice în aplicarea corectă a metodelor şi procedeelor de măsurare trebuie arătat elevilor cu ocazia efectuării lucrărilor de laborator

Lucrările de laborator în şcoala de cultură generală trebuie să constituie un mijloc eficient nu numai pentru formarea la elevi a unor deprinderi practice ci şi pentru lărgirea orizontului lor teoretic — ştiinţific, pentru iniţierea lor în metodele de cercetare ştiinţifică. Ţinînd seama de această cerinţă se îmbogăţeşte conţinutul ştiinţific al lucrărilor de laborator şi creşte într-o măsură însemnată rolul instructiv-formativ al predării fizicii.

BIBLIOGRAFIE

[1]. *Manoilescu P.* — Măsurări electrice Vol. I, Ed. Tehnică, 1966.
[2] *Ivanovici Gh. Schapira L.* — Elemente de metrologie, Buc. Ed. Tehnică, 1958.
[3] *Oncescu M.* : Mărimi şi unităţi în fizică, Buc. Ed. Tehnică, 1956.
[4] *Tutovan V.* : Introducere în măsurări electrice şi magnetice, Buc. Ed. Did. Ped. 1962.
[5] *Blumen D.* : Lucrări de laborator la Fizică Buc. Ed. Did. Ped. 1960
[6] *Malikov M.F.* : Bazele metrologiei. Ed. tehnică-ştiinţifică Moscova, 1949.
[7] *Denis-Papin M* et *J. Vallot* : Métrologie générale, Ed. Dunod, Paris 1948.

BITUMINELE DIN UNELE MINEREURI CU CONȚINUT DE SULF LIBER IDENTIFICATE CU LUMINĂ WOOD

POPOVICI MIHAI — ISR-București, *ISOPESCU ALEX.* — ISE București, *ALEX. DAN PETRESCU* Inst. Pedagogic Pitești, *REDEȘ ALEX* — ISE, București, *APOSTOL LEONID* — Muzeul St. Nat. „Gr. Antipa" București
ELENA POPOVICI

Am studiat o serie de probe din zăcămîntul de sulf de la Pucioasa, prelevate din stratul de deasupra nivelului hidrostatic, trimise de colectivul de geologi ce l-au studiat, în vederea găsirii metodei optime de extragere din rocă.

În urma cercetărilor executate de un colectiv în cadrul Institutului de Cercetări" „ICECHIM", condus de tov. Prof. Hubei Panu, s-a pus la punct un procedeu de separare de steril, prin măcinare și flotare :

În acest zăcămînt, sulful se găsește înglobat într-o rocă de gips ($CaSO_4.2H_2O$), care conține sulf în proporție de 10—15%.

Sulful se găsește repartizat neregulat în roca însoțitoare, prezentîndu-se în secțiune fie sub formă de cîmpuri de 5—10 mm, diametru, fie sub formă de grăunciori mai fini.

Prezența sulfului se recunoaște ușor la lumina zilei, după coloratia galbenă caracteristică, după solubilitatea lui în solvenți organici și după mirosul caracteristic de bioxid de sulf ce produce prin ardere.

Sulful pur, examinat în razele ultraviolete, prezintă o fluorescență cafenie.

Sulful, separat din rocă prin flotație, a prezentat o fluorescență cafenie foarte închisă, datorită prezenței bituminelor, al căror miros caracteristic îl imprimă și sulfului respectiv.

În paralel cu separarea prin flotație, executată de alt colectiv, am experimentat extragerea sulfului din rocă, după măcinare la moara cu bile. Măcinarea s-a făcut la o mărire granulometrică corespunzătoare trecerii pulberii prin site cu 900 ochiuri pe cm^2. Pulberea de sulf s-a exras cu diferiți solvenți : toluen, white spirit, lampant,)s-au folosit solvenți puri, practic lipsiți de fluorescență). Sulful obținut prin extracție are o culoare ocru-murdar și un miros caracteristic bituminos, din cauza bituminelor cu care este însoțit. Acest sulf are, în razele ultraviolete, o culoare de fluorescență cu totul închisă, aproape neagră :

Prin cristalizări succesive din sulfuri de carbon, s-a putut obține sulf lipsit de bitumine și care are o fluorescență galben cafenie tipică.

La analiza făcută asupra diferitelor probe de sulf, s-a găsit un conținut în bitumine de 0,35—0,82%.

Pentru studiul sulfului *prin cromatografie de fluorescență*, s-a folosit hîrtie de filtru cantitativă Schleicher Schull :

Bituminele s-au absorbit cromatografic din soluții diluate, folosind coloane de oxid de aluminiu. După eluare cu toluen pur, soluțiile de bitumine, adsorbite pe hîrtie de filtru cantitativ, au prezentat fluorescența galbenă, caracteristică prezenței bituminelor.

Din extractul de sulf cu bitumine, s-au extras substanțele bazice prin tratare cu acid acetic concentrat chimic pur (la fierbere timp de cîteva ore). După separare cu pîlnia de separare, soluția acetică s-a filtrat prin filtru fin, s-a concentrat prin distilarea unei părți a acidului acetic.

Soluția rămasă ce cuprinde substanțe bazice în acid acetic, a prezentat o fluorescență roșie cu unele nuanțe nov. Această fluorescență se dato-

reşte porfirinelor din bituminele extrase cu solvenţi. Diluînd cu apă soluţia acetică de porfirină şi adiţionînd acid sulfuric 10% şi examinînd în microscopie binoculară pe cromatograma iradiată cu flux de raze U-V concentrate, intensitatea fluorescenţei creşte extrem de mult atingînd la 1×10^{-10} g/cm^3, ceea ce întrece limita superioară a sensibilităţii fluorescenţei porfirinei citată de Gh. Dhéré *.

Încercînd reacţia prin adiţionare de acid clorhidric, are loc o slăbire mare a intensităţii, limita de vizibilitate ajungînd întîi corespunzătoare la, concentraţia de 1×10^7 g porfitină pe cm^3 pentru a trece repede la extincţie.

S-a comparat fluorescenţa acestor probe cu fluorescenţa unei porfirine de altă provenienţă :

Porfirinele sînt substanţe puternic fluorescente, prezentînd fluorescenţă roşie datorită grupelor NH ce cuprind în moleculă, precum şi grupelor CH ce le intensifică şi mai mult proprietăţile fluorescente. Aceasta este indicaţie că, la formarea acestui sulf, au participat diferite forme de viaţă ale căror rămăşiţe organice s-au bituminizat prin fermentare anaerobă.

Porfirinele, fiind substanţe foarte stabile, cu caracter aromatic, se descompun la temperaturi de peste 360°C şi de aceea probabil că s-au păstrat în timpul perioadelor geologice :

Prezenţa lor în aceste zăcăminte minerale de sulf mai dă o indicaţie că aceste zăcăminte de natură sedimentară biogenetică nu au suferit temperaturi ridicate de la formarea lor.

Porfirina

Colectivul îşi propune ca, în viitor, să izoleze bitumine şi să caute porfirinele şi în alte roci din R.S.R., a căror geneză este explicabilă prin procese biogenetice.

CONCLUZII

In lucrările efectuate, s-au realizat :

1. — Separarea sulfului din minereul de la Pucioasa, prin extracţie cu solvenţi organici.

2. — S-a dozat, în sulful extras, conţinutul în bitumine găsindu-se 0,35—0,83%.

3. S-au extras, din bitumine, substanţele bazice cu acid acetic concentrat, în anumite condiţiuni :

4. S-a identificat, în mod foarte expeditiv, prin fluorescenţă, în substanţele bazice extrase, prezenţa porfirinelor.

5. *S-a stabilit o metodă calitativă de identificarea prezenţei bituminelor în sulf, prin examenul fluorescenţei.*

6. S-a mărit precizia identificării prezenţei porfirinelor printr-o reacţie în mediu de acid sulfuric, ceea ce a crescut sensibilitatea la 1×10^{-10} g/cm^2 porfirină şi, deci, *s-a propus o nouă tehnică de cercetare cantitativă a porfirinei.*

BBLIOGRAFIE

[1] *M. Deribéré* Les appl. pratiques de la luminiscence 1964, p. 52.
[2] *H. Nielend* Travaux sur la minéralogie et la pétrographie, Neues Jahrb, Miner. Beilege 63, A, p. 83. 1931.

*) Gh. Dhéré : *La flourescence en biochimie* Les preses univ. de France — Paris 1937

[3] *M. Déribéré* Les phénoménes de luminiscence dans le regne mineral Arn. chim. anal. 21 nr. 5 şi 6 pag. 119 şi 145 (1939).
[4] *M. Déribéré* Les appl. pratiques de la luminiscence, 1938, 1946, 1947, 1956.
[5] *G. Komowski şi F. Abelenski* Probleme de geologie sovietice, 8, 322 (1938) Moscova.
[6] — *Stanciu Victor* Identificarea rocelor şi mineralelor din zăcămînt cu ajutorul razelor ultraviolete. Rev. Muzeului Geologic-Mineralogic, Univ. Cluj, 1936, pag. 321—327
[7] *M. Popovici, H. Popovici. L. Apostol, Alex. Redea* La fluorescence des quelques minéraux de la collection de musée d'Histoire Naturelle „Grigore Antipa" de Bucarest et ses applications pratiques, Trav. du Mus. d'Histoire nat. „Fr. Antipa", vol. III, pag. 477—499, Bucarest, 1962

NOTE PRELIMINARE

Dependenţa între presiune şi distanţă la descărcarea electrică pe un electrolit

de

N. CALINICENCO şi *N. MATEESCU* — Institutul politehnic Iaşi

Descărcarea între un electrod metalic şi soluţie a fost studiată mai înainte din punct de vedere al fenomenelor chimice ce au loc.

Ne-am propus să cercetăm dacă se respectă şi în cazul acesta legea lui Paschen. Electrolitul este pus într-un balon de sticlă şi tot în balon deasupra electrolitului, la o distanţă, se găseşte un electrod plan dealumin iu, fixat în aşa fel încît are posibilitatea să rămînă tot timpul paralel cu suprafaţa liberă a electrolitului. Descărcarea se produce la o tensiune continuă şi constantă U = 3,6 Kv. Presiunea p la care are loc descărcarea, a fost variată de la 17 torr. pînă la presiunea atmosferică. Distanţa d dintre electrodul metalic şi electrolit era modificată prin basculare.

S-au cercetat descărcările pe soluţiile de NaCl, 20% $CuSO_4$, 10% şi Pb $(CH_3COO)_2$, 5%. Electrolitul era făcut fie catod fie anod. Cînd electrodul metalic este catod, iar electrolitul anod, în domeniul presiunilor cuprins între 160 torr. şi 360 torr., legea lui Paschen p.d = constant pentru U = constant, se verifică.

Legea se respectă numai în această situaţie, deoarece asemănarea cu descărcarea electrică produsă între electrozi metalici, este acum mare, întrucît se ştie că rolul principal într-o descărcare îl are catodul, care şi în cazul descărcării noastre este tot metalic. Natura sau concentraţia electrolitului nu influenţează fenomenul studiat.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

SOCIETATEA DE ŞTIINŢE FIZICE ŞI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL V

9

SEPTEMBRIE 1968

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR, 23, RAION 16 FEBRUARIE, BUCUREȘTI–45, TELEFON 16.42.86

SUMAR

H. Uschersohn

Obiectul fizicii și chimiei și interdependența acestor științe 321

L. Oniciu

Pile de combustie 333

V. Gavril

A. Cîrlănescu și *A. Cristescu*

Metodica predării noțiunilor de oxidare și reducere în școală 341

R. Hegedüs

Clasificarea particulelor elementare 350

COMITETUL DE REDACȚIE

Ion Agîrbiceanu, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Teodor Bohățiel**, asist. univ. — redactor; **Simion Bulgarea**, prof. **Maria Codreanu**, prof. **Nicolae Martalogu**, conf. univ.; **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C. Moisil**, conf. univ.; **Alice Negoescu**, prof.; **Ion C. Petrea**, conf. univ.; **Victor Sahini**, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România). Redactor responsabil: **Constantin D. Albu**, lector univ.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A

Anul V, nr. 9 septembrie 1968

OBIECTUL FIZICII ŞI CHIMIEI ŞI INTERDEPENDENŢA ACESTOR ŞTIINŢE

Conf. *H. USCHERSOHN*

Abordarea ştiinţifică a acestei probleme impune luarea în consideraţie a faptului că *obiectul ştiinţelor naturii e în continuă dezvoltare*, ca un rezultat firesc al dezvoltării societăţii şi, în particular, al ştiinţelor însăşi, astfel încît rezolvarea ei are un caracter concret istoric, ce necesită revizuiri periodice. Dar schimbarea — deseori radicală — a obiectului ştiinţelor — n-a fost urmată şi de aceea a denumirilor acestora, preluate şi transmise prin tradiţie dintr-o generaţie în alta. De aci au rezultat însă uneori contradicţii între *noul* conţinut al unor ştiinţe şi *vechea* lor denumire, ca expresie a vechiului conţinut.

1. Istoricii şt. naturii ne spun că *fizica* a apărut în germene în antichitate avînd semnificaţia de *ştiinţă despre natură, în general* (în greceşte, physis=natură). Sîntem în perioada „preştiinţifică" a ştiinţei nediferenţiate despre natură (etapă corespunzătoare concepţiei spontan-dialectice a grecilor, care „vedeau pădurea şi nu vedeau copacii), urmată abia mult mai tîrziu (sec. XV) de etapa diferenţierii ştiinţelor. În fizica sa, Aristotel (poate fi considerat fondatorul fizicii [1]) se ocupă de problemele spaţiului, timpului şi mişcării, adică de problemele generale ale mişcării mecanice. După el, în cadrul fizicii se dezvoltă unele aspecte mai concrete ale mecanicii (Arhimede), astronomia (Eratostene, Aristarh, Ptolomeu) şi opticii (Euclid). În timpurile moderne, locul central în cadrul şt. fizice îl ocupă mecanica. Separarea fizicii de chimie se face în sec. XVII prin Galileu şi Toricelli, de o parte şi Boyle, de alta. De-a lungul întregii sale istorii, fizica s-a ocupat de problemele mecanicii (care deţin pînă în sec. XVIII locul central), de stările de agregare ale substanţei (ce vor deveni fizica solidului, lichidelor şi gazelor) de problemele structurii materiei (diversele etape ale atomistici) ca şi de fenomenele luminoase, electrice, magnetice, calorice şi acustice cărora le corespund, de regulă, capitolele manualelor [2]) de fizică.

Vedem deci că fizica s-a ocupat de la început de probleme extrem de diferite. Tendinţa continuă a descoperirii *unităţii* în cadrul acestei varietăţi, exprimată iniţial în tendinţa (mecanicistă) reducerii fizicii la mecanică, care a trebuit să fie părăsită, sau a descoperirii legii transfor-

---

[1]) V. Novacu. Istoria fizicii Ed. did. pedag. 1966 p. 41

[2]) Ocupîndu-se de fenomene atît de variate, fizica e considerată pînă la începutul sec, XIX ca echivalentă cu *toată ştiinţa despre natură*. De aceea, în cunoscuta sa clasificare a ştiinţelor, St. Simon împarte fizica în raport cu cele 2 domeini ale naturii, în fizica corpurilor anorganice şi fizica corp. organice (B. M. Kedrov Klasif. Nauk vol. I 1961. p. 94.

mării şi conservării energiei (unitatea diferitelor forme de energie), n-a izbutit să rezolve problema unităţii în fizică. R. Feynman crede că fizica de azi, datorită diversităţii fenomenelor de care se ocupă, e echivalentă cu vechea filozofie a naturii (studiul speculativ al naturii în sec. XVII—XVIII), din care a apărut cea mai mare parte a ştiinţelor de azi [3]).

În ceea ce priveşte *chimia*, ea e o ştiinţă mult mai tînără. Cuvîntul chimie apare prima dată într-un decret al împăratului Diocletian (298 î.e.n.) ca „chemeia" sau arta de a face (falsifica) aur şi argint [4]). Originea etimologică, foarte obscură încă, a acestui cuvînt, e fie în numele autohton al Egiptului (chemia) şi ar însemna arta egipteană, fie în grecescul „chymia" = metal turnat. Preluînd acest cuvînt, Arabii l-au transmis adăugîndu-i articolul „al". Alchimia avea ca scop principal transformarea metalelor comune în metale preţioase. Ulterior iatrochimia (chimia medicală) se concentrează asupra aplicaţiilor medicale ale transformărilor chimice şi în special asupra descoperirii de noi medicamente. Chimia ca ştiinţă, se naşte cu Boyle, care descoperă noţiunea de „element chimic" [5]).

Vedem deci că de la început, obiectul chimiei apare mai omogen, mai puţin diferenţiat decît al fizicii, fiind legat de trasformările compoziţiei corpurilor, de reacţiile chimice.

2. În sec. XIX, mecanica, fizica şi chimia încep să fie deosebite între ele după nivelul structural al materiei (substanţei) pe care îl studiază, astfel încît principalele ştiinţe ale naturii devin *ştiinţe ale unor obiecte* (respectiv, nivele structurale ale substanţei). Cîtă vreme se admitea numai moleculele ca părţi constitutive ale corpurilor (disputa asupra existenţei a 2 nivele structurale-molecule şi atomi n-a fost rezolvată pînă după 1860[6]), ştiinţele naturii erau legate, fie de mişcarea *maselor*, fie a *moleculelor* [7])- H. Spencer deosebeşte astfel *mecanica molară* (a corpurilor) *de mecanica moleculară*, care cuprindea la un loc fizica şi chimia, considerate insepa. rabile datorită strînsei lor interdependenţe [8]). Într-o concepţie mecanicistă el împarte atît mecanica molară cît şi cea moleculară în statică şi dinamică. El deosebeşte totuşi fizica de chimie şi anume, fizica studiază schimbările în aşezarea *moleculelor omogene*, pe cînd chimia studiază transformările substanţelor compuse din *molecule neomogene* din care apar noi substanţe complexe. Conform ştiinţei timpului, el include în mişcarea moleculară şi lumina, electricitatea şi magnetismul, deşi ele începuseră să fie studiate de fizica eterului (ipotetic).

În măsura în care se impune însă şi existenţa atomilor, principalele ştiinţe ale naturii încep să fie legate de 3 nivele structurale ale substanţei mase, molecule, atomi. Astfel Kekule, scrie Engels defineşte chimia ca ştiinţă a atomilor, fizica ca ştiinţă a moleculelor (referitor la termodinamică, cea mai dezvoltată ramură a fizicii, atunci) iar mecanica, ştiinţa maselor [9]).

---

[3]) Feinmanovskie lekţii po fizike vol. I 1965 p. 55.

[4]) C. D. Neniţescu Chimie generală 1963 p. 23.

[5]) E. Engels Dialectica naturii Ed. Pol. 1959 p. 168

[6]) B. M. Kedrov. op. cit. p. 308

[7]) Engels arată că chiar la Hegel ştiinţele naturii apar divizate în mecanism, ca *mişcare a maselor*, chimism, ca *mişcare moleculară*, care include fizica şi chimia, *ca ştiinţe de acelaş ordin* şi organism (Dialectica naturii 1959 p. 232)

[8]) B. M. Kedrov Predmet i vzaimosviaz estestev. nauk 1967 p. 207.

[9]) F. Engels Dialectica naturii ed. 1959 p. 233. La Kekule e vorba însă şi de o concepţie mecanicistă, deoarece el consideră că atît fizica cît şi chimia reprezintă „statica şi dinamica" (deci mişcare mecanică) a moleculelor, respectiv atomilor (Engels, op. cit.).

Explicația limitelor acestor interpretări -progresiste pentru vremea lor, căci legau fiecare știință de un domeniu concret al lumi materiale (nivel structural)- constă în nivelul atins de dezvoltarea atomisticii, care nu cunoaștea alte nivele structurale ale substanței și în faptul că nu apăruseră încă științele care studiau trecerile de la o știință la alta (biofizica, geochimia, etc.)

3. Engels, punîndu-și sarcina generalizării științelor naturii din timpul său, a căutat să depășească limitele predecesorilor săi, respectiv mecanicismul (St. Simon) și idealismul (Hegel), în clasificarea științelor naturii. Ca atare, la baza acestei clasificări el pune, alături de *principiul obiectivității* — respectat și de materialismul premarxist — și *principiul dialectic al dezvoltării*, care înlocuește vechea *coordonare* (logic-formală), respectiv juxtapunere a științelor una lîngă alta, cu *subordonarea* unor științe față de altele, în raport cu dezvoltarea formelor corespunzătoare de mișcare a materiei.

Plecînd de la definiția mișcării ca mod fundamental de existență a materiei, Engels distinge speciile genului „mișcare" — ca diferitele „forme de mișcare a materiei", moduri specifice de existență a diferitelor tipuri determinate de obiecte materiale (specii ale materiei) sau, după terminologia lui Kedrov, anumiți purtători materiali specifici". În acest sens, Engels lega mecanica de mișcarea corpurilor (maselor) terestre sau cerești (astronomia), fizica de mișcarea moleculelor, chimia de mișcarea atomilor iar biologia de mișcarea substanțelor albuminoide[10]). În aceste formulări găsim expresia principiului fundamental al dialecticii materialiste, al unității dintre materie și mișcare—ignorat, în genere, de materialismul metafizic din vremea lui Newton. „Diversele forțe și aspecte ale substanței înșăși pot fi cunoscute numai prin mișcare; numai în mișcare se manifestă însușirile corpurilor: despre un corp care nu se află în mișcare nu se poate spune nimic. Prin urmare, natura corpurilor în mișcare rezultă din formele mișcării — spune Engels [11]) .

Am văzut însă că legarea acestor 3 științe ale naturii—mecanica, fizica și chimia — de anumiți purtători materiali o întîlnim și înainte de Engels, dar într-o interpretare mecanicistă. Engels depășește această interpretare mecanicistă cînd, referindu-se la deosebirea dintre mase, molecule și atomi, scrie „Pe această deosebire se bazează separarea mecanicii, ca știință a maselor cerești și terestre, de *fizică ca mecanică* a moleculelor și de *chimie, ca fizică* (subl. ns.) a atomilor"[12]) Deci nu mai e vorba doar de legarea fiecărei științe de un purtător material specific ci și de legarea științelor între ele, corespunzător raportului genetic dintre nivelele corespunzătoare de structură a materiei. Acest lucru îl explică Engels cînd scrie „Dacă fizica o numesc mecanică a moleculelor, chimia-fizică a atomilor și mai departe, biologia-chimie a albuminelor, vreau să exprim prin aceasta trecerea fiecăreia din aceste științe în cealaltă, adică atît legătura, continuitatea, cît și deosebirea, discontinuitatea"[13]). Vedem deci că într-o interpretare dialectică, care ține seama de dezvoltarea materiei de la inferior la superior, Engels explicitează relațiile genetice, de subordonare (și nu de simplă coordonare ca la A. Comte sau Kekule) între științele naturii (respectiv obiectele lor).

---

[10]) F. Engels op. cit. p. 232—238
[11]) ibid. p. 230—231
[12]) ibid., p. 46
[13]) F. Engels op. cit. p. 234

Engels nu leagă însă *nemijlocit* fiecare ştiinţă a naturii de un purtător material specific — specie de substanţă -ci doar *mediat* prin intermediul noţiunii filozofice de *formă de mişcare a materiei* în care purtătorul material reprezintă doar una dintre caracteristici. El distinge 5 forme fundamentale de mişcare a materiei (4 în natură- mecanică, fizică, chimică, biologică şi forma socială) iar criteriile acestei distincţii stă, în afară de purtătorul material, în contradicţiile specifice şi legile proprii fiecăreia din ele. Deosebind formele superioare de mişcare a materiei de cele inferioare, Engels subliniază — în opoziţie radicală cu reducţionismul mecanicist — ireductibilitatea formelor superioare la cele inferioare, pe care le includ structural.

4. Progresele ştiinţelor în sec. XX — şi în mod deosebit pătrunderea mai adîncă în structura atomului ca şi apariţia unui număr crescînd de ştiinţe intermediare (între cele fundamentale) — au impus revederea unora din tezele lui Engels asupra clasificării ştiinţelor.

Limitînd analiza acestei probleme la obiectul fizicii şi chimiei, ne vom opri asupra:

a) raportul acestor ştiinţe cu forma de mişcare respectivă.

b) raportul lor cu purtători materiali specifici şi

c) raportul lor cu alte laturi (însuşiri, relaţii) ale purtătorilor.

d) Criteriul principal al clasificării ştiinţelor fundamentale formulat de Engels — după forma de mişcare a materiei — are anumite limite obiective în ce priveşte folosirea lui. Astfel el se aplică 1) doar ştiinţelor despre natură şi societate şi nu celor despre gîndire (de ex. logica, lingvistica, psihologia, gnoseologia, epistemologia, etc). sau matematicii, astronomiei — ştiinţe care nu studiază o formă de mişcare a materiei ci diferitele laturi ale conştiinţei sau relaţii extrem de generale, abstrase din întreaga realitate obiectivă. 2) El se aplică doar ştiinţelor fundamentale şi nu tuturor ştiinţelor, al căror număr e în continuă creştere (deci nu se aplică ştiinţelor intermediare, nici ştiinţelor particulare apărute prin continua diferenţiere a ştiinţelor fundamentale (ramurile biologiei, fizicii, etc.)

Dacă ne referim acum doar la ştiinţele fundamentale ale naturii, o altă limită care tinde să se impună în ultima vreme e aceea că nu toate aceste ştiinţe au ca obiect o formă corespunzătoare de mişcare a materiei. Dacă e aproape unanim admis azi că biologia şi geologia au ca obiect o formă specifică de mişcare a materiei, cu privire la celelalte ştiinţe fundamentale ale naturii există discuţii, datorită dificultăţilor în precizarea caracterelor acestor forme de mişcare a materiei şi mai ales a purtătorilor materiali specifici.

În ce priveşte *mecanica*, unii autori cred că acestei ştiinţe nu-i corespunde o formă de mişcare mecanică, deoarece nu are un purtător material specific (Solopov propune chiar să nu vorbim de o formă mecanică de mişcare a materiei, ci doar de o descriere mecanică a mişcării) [14]) sau nu e legată de o anumită structură a materiei. Mulţi autori resping aceste, teze. Considerăm că greşala care stă la baza negării unei forme mecanice de mişcare a materiei stă în reducerea materiei la una (sau alta) din speciile substanţei (corp, moleculă, atom. etc.) şi cu mişcarea mecanică, proprie oricărui corp material, nu e legată expres de vreuna din aceste

---

[14]) E. F. Solopov. Relaţia dintre formele de mişcare şi tipurile de materie în natură Probleme de filozofie 8—9 1963 p. 153

specii, ea n-ar fi o formă de mişcare a materiei. Dar mişcarea mecanică înseamnă mişcarea materiei (respectiv a substanţei) în general şi aceasta nu se reduce la nici unul din nivelele ei structurale.

Totuşi mişcarea mecanică e deosebită de celelalte forme clasice de mişcare a materiei. Ca atare, mai mulţi autorii tind s-o includă în clasa *formelor generale de mişcare a materiei* (Kedrov) [15]) sau *abstract-generale* (Solopov) [16]), care nu sînt legate de anumite obiecte *materiale* (cum sînt *formele particulare* de mişcare a materiei) ci de *orice corp material*. Ca atare, mecanica e scoasă de Kedrov din seria clasică a formelor de mişcare a materiei (şi ştiinţelor respective). Kedrov separă mecanica în raport cu dimensiunile corpurilor în mişcare — în *macromecanică* (mecanica clasică) şi *micromecanica* (mecanica cuantică modernă, ca mişcare a microparticulelor). El include în aceste forme generale de mişcare a materiei şi mişcarea calorică, care e legată de orice colectivitate statistică de particole materiale (molecule, atomi, sau microparticole, ca în plasmă), aflate în mişcare haotică, dezordonată dar supusă unor legi statistice [17]).

În ce priveşte *chimia*, există se pare o unanimitate de vederi în recunoaşterea unei forme chimice de mişcare a materiei. Această recunoaştere e legată însă de o diversitate de păreri, asupra unei singure sau mai multor forme chimice de mişcare a materiei [18]). Datorită, în ultimă instanţă, insuficientei precizări a conţinutului noţiunii de formă de mişcare a materiei [19]), există uneori tendinţa considerării diferitelor capitole ale chimiei ca reflectări ale unor forme corespunzătoare (*particulare*) de mişcare chimică a materiei.

Dar cele mai multe discuţii se duc în jurul noţiunii de *formă fizică de mişcare a materiei*. Existenţa ei e contestată de mulţi autori datorită lipsei unui purtător material specific, deoarece fizica studiază atît mişcarea moleculară (ca fizică moleculară) cît şi a particolelor materiale, nucleului (fizica nucleară) Mulţi autori cred că nu se poate vorbi de o corespondenţă deplină între fiecare formă de mişcare a materiei şi o specie de substanţă (nivel structural) deoarece unele specii de substanţă (de ex. atomii şi moleculele) participă la mai multe forme de mişcare a materiei [20]) iar aceeaşi formă de mişcare a materiei poate fi legată de purtători materiali diferiţi [21]). Ignatov scrie că fizica studiază de fapt mai multe forme

---

[15]) B. M. Kedrov Predmet... p. 296

[16]) Solopov op. cit. p. 156

[17]) Kedrov include în aceeaşi clasă şi forma *de mişcare cibernetică*, ca o formă legată de orice sistem material (biologic, social sau mecanisme automate create de om) în care există comandă automată a proceselor bazate pe recepţionarea, stocarea şi prelucrarea informaţiei. Nu toţi autorii admit o formă cibernetică, de mişcare a materiei.

[18]) Solopov crede că ar exista două dorme chimice de mişcare a materiei corespunzătoare respectiv atomilor şi moleculelor (op. cit. p. 148). Alţii consideră că ar exista mai multe forme chimice de mişcare a materiei, corespunzînd de pildă chimiei organice şi anorganice. Sahparonov crede că una din tendinţele moderne ale dezvoltării chimiei e creşterea numărului de forme de mişcare chimice, el vorbeşte de o formă coloidală de mişcare a materiei, divizată la rîndul ei într-o formă dispersoidă şi alta legată de sorbţie (M. Sahparonov Himia i filosofia M. 1962 p. 5.

[19]) Mulţi autori insistă asupra necesităţii analizei, de pe poziţiile ştiinţei şi filozofiei marxiste contemporane a unor noţiuni filozofice ca formă de mişcare a materiei, formă de existenţă a materiei, etc. cu care — spune Kedrov, operăm deseori din obişnuinţă , fără a cerceta eventualele schimbări în conţinutul lor (op. cit. p. 425).

[20]) A. I. Ignatov. Formî dvijenie i vidî materii Vopr. Filos. 1 1964 pl. 33.

[21]) A. I. Uemov Unele elemente ale dezvoltării şt. naturii şi principiile clasificării lor. Probl. filozofie 8/1961 p. 83.

de mişcare a materiei, cărora le corespund diferite specii de materie[22]). Tocmai datorită acestei necorespondenţe, Kedrov împarte forma de mişcare fizică în două-fizică moleculară şi fizică-subatomică, corespunzător nivelelor structurale diferite [23]).

Pe de altă parte, şi în acest domeniu se vorbeşte deseori de mai multe forme de mişcare fizică, ca forme particulare, subordonate formei fizice, principale, ca de ex.: formă calorică, electrică, luminoasă sau electromagnetică unii admit o formă gravitaţională, alţii a particulelor elementare sau nucleară, etc. E vorba de aceeaşi tendinţă de a considera diversele capitole ale oricărui tratat de fizică ca expresii ale unor forme distincte de mişcare a materiei, sau de legare a fiecărui nivel structural subatomic de cîte o formă de mişcare a materiei.

b) În ceea ce priveşte legarea fizicii şi chimiei de cîte un *purtător material specific*, s-a subliniat încă de mult că diferitele ştiinţe (şi forme de mişcare a materiei) nu pot fi legate obligator de un anumit purtător material deoarece orice obiect material, de orice dimensiune — de la microparticolă la organism sau cosmos — are o infinitate de însuşiri, relaţii cu mediul, din care fiecare poate constitui obiectul unei alte ştiinţe. Ca atare, fizica şi chimia nu pot fi legate — cum se credea spre sfîrşitul sec. XIX — exclusiv de molecule, respectiv atomi — deoarece atît molecula cît şi atomul sînt studiate atît de fizică cît şi de chimie (iar fizica studiază şi alte nivele structurale, cele infra-atomice). Există desigur o mişcare a moleculelor, ca şi a atomilor sau microparticulelor, dar credem că e o greşală a confunda aceste mişcări cu noţiunea — mult mai largă, — filozofică — de formă de mişcare a materiei, care poate fi legată de mai multe specii de substanţă (nivele structurale[24]).

Kedrov leagă forma de mişcare chimică de mişcarea atomilor iar pe cea fizică o leagă, cum am văzut, printr-una din forme de molecule iar pe de alta de structurile subatomice. Reiese deci că fizica e legată de mai mulţi purtători materiali.

c) Lipsa unei corespondenţe riguroase între fiecare ştiinţă (formă de mişcare a materiei) şi purtătorii materiali specifici a mutat centrul atenţiei spre *tipul de interacţiune dintre anumiţi purtători materiali*. După Kedrov, interacţiunea constituie principalul element determinant al specificităţii fiecărei forme de mişcare a materiei deoarece în cadrul ierarhiei de nivele structurale ale substanţei, fiecare tip nou de organizare nu reprezintă altceva decît un tip specific de interacţiune între elementele constitutive ale nivelului imediat inferior [25]). Cînd din diferiţi indivizi (de ex. nucleu + electron se formează un sistem calitativ nou (atomul), specificitatea lui e determinată de modul specific de interacţiune între aceşti indivizi. Deoarece însă acelaş tip de interacţiune poate fi întîlnit între diferite particole (de ex. interacţiunea de tip electric leagă şi părţile atomului între ele şi atomii în molecule, formînd legăturile chimice şi moleculele în agregate), Kedrov precizează că specificitatea unei forme de mişcare nu e determinată numai de un tip de interacţiune ci şi de anumiţi purtători materiali [26]).

---

[22]) Ignatov op. cit. p. 133.

[23]) Kedrov. Predmet...p. 296

[24]) Unii autori leagă în aşa măsură forma de mişcare de un purtător material propriu încît vorbesc de *o formă moleculară* sau *atomică* de mişcare a materiei, deşi atît molecula cît şi atomul sînt legate, cum vom vedea, atît de mişcarea fizică cît şi de cea chimică.

[25]) B. M. Kedrov. Predmet... p. 190.

[26]) Kedrov p. 192

Unii autori au obiectat însă și împotriva acestui criteriu datorită echivocurilor provocate de polisemantismul cuvîntului „interacțiune". Fiecare particolă materială poate fi caracterizată printr-un mare număr de interacțiuni (atomii de pildă sînt caracterizați prin interacțiuni electrice, van der Waals, de dispersie, după cum microparticolele pot fi caracterizate prin cele 4 tipuri de interacțiuni studiate de fizica modernă). Și stările de agregare ale substanței sînt caracterizate prin tipuri *diferite* de interacțiuni moleculare și totuși ele aparțin aceleași forme de mișcare — forma molecular-fizică caracterizată prin definiție printr-un *anumit tip* de interacțiune intermoleculară. Rezultă că nu orice interacțiune de obiecte materiale reprezintă baza unei forme specifice de mișcare a materiei ci doar unele din ele și acest lucru nu e precizat în definiția fiecărei forme de mișcare a materiei. Dacă vom răspunde la această întrebare afirmînd-cum se face cîteodată -că interacțiunea specifică formei fizice (chimice) de mișcare a materiei e „fizică" („chimică") cădem într-un cerc vicios căci definim forma de mișcare prin interacțiunea respectivă și interacțiunea prin forma de mișcare. E necesară deosebirea tipului de interacțiune propriu fiecărei forme de mișcare a materiei de toate celelalte tipuri posibile.

În fața lipsei de concordanță dintre forma de mișcare și tipul de substanță, unii autori au căutat specificitatea fiecărei forme de mișcare a materiei în alți factori și anume : contradicția internă specifică fiecărei forme de mișcare a materiei (Sahparonov) [27]), sau *complexul de însușiri unitare* al unor particole materiale, diferit pentru fiecare formă de mișcare (Uemov) [28]). Fizica și chimia, scrie Umeov trec treptat de la studiul unor *clase de obiecte* la studiul unor *complexe de însușiri și relații* [29]). Dar el nu precizează în ce constă acestea.

5. *Definițiile curente actuale.* În literatura științifică contemporană există multă unanimitate în definirea obiectului chimiei, dar mult mai puțină în definirea obiectului fizicii. Marea majoritate a autorilor definesc chimia ca știința care se ocupă cu modificările și *transformările substanțelor* (Macarovici[30]), (Nenițescu [31]) sau, pe scurt, „știința despre substanțe" (Nenițescu [32]). Macarovici mai precizează că e știința care studiază *formele de mișcare chimice*, care sînt legate de transformările substanțelor. După A. Cișman, chimia e știința care cercetează combinațiile atomilor și transformările moleculelor [33]). Linus Pauling definește chimia ca știința care studiază substanțe, structura și transformările lor reciproce, dar adaugă că această definiție e și prea restrînsă și prea largă. E prea restrînsă pentru că chimiștii nu pot studia substanțele fără să considere și energia radiantă (interacțiunea luminii sau razelor X, undelor hertiene cu substanțele, etc.) Definiția e prea largă pentrucă ar putea include toată știința, deoarece de substanță se ocupă și alte științe (astronomia, fizica, biologia). Concluzia lui e că e greu de separat chimia de alte științe [34]).

În ceea ce privește *fizica*, cele mai multe manuale o definesc ca știința care studiază cele mai generale forme de mișcare (urmînd înșirarea lor

---

[27]) Sahparonov M. Himia i filosofia M. 1962 p. 13

[28]) Uemov op. cit. p. 83—83.

[29]) ibid. p. 84

[30]) C. Gh. Macarovici Chimie generală, 1962 p. 12—13

[31]) C. D. Nenițescu op. cit. p. 22.

[32]) Ibid. p. 29

[33]) A. Cișman Fizica generală Ed. Tehnică 1962 vol. I p. 3

[34]) Linus Pauling — Chimie generale 1956 p. 1

clasică : mecanică, termică, electromagnetică, alţii adaugă sunetul) şi transformările lor reciproce sau legile lor (Friş-Timoreva, [35]) Macarovici, etc.) Alţi autori adugă în definiţie şi studiul structurii materiei sau atomului (Titeica şi Stănescu [36]), Macarovici, Neniţescu, Ivanov scrie că fizica studiază structurile originale, fundamentale ale lumii [37]). Alţi autori mai adaugă studiul unor proprietăţi ale materiei. Titeica şi Stănescu adaugă şi studiul fenomenelor celor mai generale legate de existenţa materiei.

Un loc aparte în cadrul acestor definiţii îl ocupă acelea care au fost formulate de Einstein şi Feynman. Ceeace numim fizică-scrie Einstein-cuprinde o grupă de ştiinţe naturale care se bazează pe măsuri ce pot fi exprimate în termeni matematici [38]). Feynman consideră că sarcina fizicii teoretice de azi e de a descoperi legile — deduse din experienţă — care să supună toate clasele de fenomene ale naturii (căldură, electricitate, mecanică, magnetism, lumină, raze X, îusuşiri chimice, fonomene nucleare sau mezonice, etc. [39]).

Foarte mulţi autori insistă asupra faptului că de regulă nu e posibilă o delimitare precisă a obiectului acestor 2 ştiinţe, datorită strînsei lor intrepătrunderi.

6. Vom încerca să tragem unele concluzii generale, teoretice.

a) Materia, ca realitate obiectivă, e obiectul diferitelor ştiinţe. Cum materia există numai în mişcare, formele ei concrete de manifestare sînt diferitele forme de mişcare a materiei. Deşi *formele concrete de mişcare a materiei* au fost descoperite plecînd de la ştiinţele existente (altfel nici nu era posibil, trebuia plecat de la „ceeace ştim"), aceasta nu înseamnă că în mod automat fiecărei ştiinţe îi corespunde o formă de mişcare a materiei. Numărul ştiinţelor e mult mai mare decît numărul formelor de mişcare a materiei.

b) Noţiunea filozofică de formă de mişcare a materiei nu poate fi înţeleasă fără un purtător material (concluzie logică a definiţiei mişcării ca mod fundamental de existenţa a materiei). Dar acesta nu se reduce la anumite specii (nivele structurale) ale materiei (substanţei) care ar fi proprii fiecărei forme de mişcare a materiei, deoarece acest purtător poate fi a) şi cîmpul, ca altă stare a materie (forma lui de mişcare e insuficient studiată) sau b) orice corp material, indiferent de structura sau dimensiunea lui.

Cum noţiunea de formă de mişcare a materiei înseamnă *materie în mişcare*, ea nu se reduce la aceşti purtători materiali ci implică o anumită interacţiune (proprie fiecărei forme de mişcare a materiei) între aceşti purtători, rezultat al mişcării lor specifice.

c) *Nu există formă de mişcare (a materiei) pură* şi orice obiect material reprezintă o întrepătrundere de diferite forme de mişcare. Corpurile materiale din natură se împart în a) obiecte inerte, în care coexistă procese mecanice, fizice şi chimice, indisolubil unite prin structura oricărui corp şi b) organism vii, în care găsim aceeaşi indisolubilă împletire a proceselor biologice, chimice, fizice şi mecanice. Ca atare, *noţiunea de formă de mişcare a materiei e de fapt o abstracţie* a unor laturi reale, obiective, ale corpuri-

---

[35]) S. T. Friş-A. V. Timoreva Curs de Fizică generală vol. I 1964 pp. 9.
[36]) R. Titeica — N. Stănescu Fizica Ed. Tehn. 1957 p. 5
[37]) B. N. Ivanov. Novaia Fizika M. 1965 p. 3
[38]) A. Einstein. Fizika i realnost M. 1965 p. 67
[39]) Feinmanovskie lekţii po fizike vol. I 1965 p. 39

lor — inerte sau vii — laturi care sînt strîns împletite în realitate. Orice *corp material e deci o unitate de mai multe forme de mișcare a materiei* și doar întregul ansamblu constituie modul său specific de existență (Solopov) [40]).

d) Ca atare, *fizica* și *chimia*, studiind diferite forme de mișcare aflate în strînsă interdependență, *nu pot fi separate în mod riguros*. A căuta granițe precise între fizică și chimie înseamnă a-ți imagina că oamenii de știință, după ce au izolat cu mintea, prin abstracție, din același obiect, fenomenele fizice de cele chimice, ar trebui să le găsească apoi izolate și în realitate.

Dar aceasta *nu înseamnă că ele nu pot fi separate*, căci aceasta ar însemna lichidarea lor ca științe independente, așa cum au apărut s-au dezvoltat și continuă să se dezvolte de cîteva secole.

Și totuși, unii fizicieni sau chimiști contemporani au tendința lichidării uneia sau alteia din aceste două științe, prin reducerea uneia la cealaltă (parțial, sub influența mecanismului reducționist B. M. Kedrov analizează cele 2 cazuri posibile [41]).

1) *Reducerea chimiei la fizică*. Unii fizicieni consideră chimia ca o ramură a fizicii, prin reducerea ei la mecanica cuantică. Argumentele lor principale ar fi 1) că atomul nu mai e studiat azi doar de chimie ci și de fizică și 2) formarea legăturilor chimice dintre atomi — esența proceselor chimice — se reduce la interacțiunea electrică dintre electronii de valență, proces supus legilor mecanicii cuantice.

Faptele nu permit o astfel de interpretare. Mecanica cuantică studiază doar *latura fizică* a proceselor chimice, care sînt însă mult mai complexe prin natura lor (*integrală*) și ireductibile la această latură, *la fel cum întregul e ireductibil la oricare parte a lui*. Ceeace poate fi valabil pentru molecula de H_2-caz ideal-înțeleasă nu ca unire de 2 atomi H (unități chimice) ci ca interacțiune a 4 particole fizice (2 protoni + 2 electroni) nu poate fi extrapolat la reacții mai complexe, de ex, de 10^{22} molecule, căci încălcăm legea trecerii cantității în calitate. Imposibilitatea acestei reduceri apare cu atît mai evident cu cît crește numărul electronilor de valență (1—8), numărul atomilor în molecule și al moleculelor reactante. Afară de aceasta trebuie să mai ținem seama de influența tuturor celorlalți factori ce intervin, dela lipsa purității substanțelor din reacție, apa de soluție, condițiile de mediu, etc, sarcini ce depășesc posibilitățile mecanicii cuntice și sînt rezolvate doar de chimie. Trecerea de la fizica electronilor la chimie e trecerea cantității în calitate prin creșterea numărului de particole care interacționează — *global și nu numai fiecare cu alta* — între ele. Uneori se spune că ireductibilitatea chimiei la mecanica cuantică e doar momentană, legată de dificultăți temporare, cînd în realitate e vorba de o ireductibilitate de principiu. Interacțiunea chimică a electronilor de valență *nu se reduce la mecanismul sau cazul* care e studiat de mecanica cuantică.

Toate aceste argumente nu înseamnă vreo subapreciere a valorii incontestabile a mecanicii cuantice pentru chimia modernă, devenind în zilele noastre o condiție a progresului în cunoașterea mai adîncă a esenței proceselor chimice.

---

[40]) Solopov op. cit. p. 156

[41]) B. M. Kedrov. Predmet... p. 330—342

Considerăm că în acelaşi cadru de reducere a chimiei la fizică se încadrează şi tendinţa unor fizicieni de a îngloba în fizică tot ce poate fi măsurat şi exprimat matematic. Modalitatea de exprimare matematică a cunoştinţelor — din ce în ce mai mult însuşită de diferite ştiinţe (paralel cu matematizarea crescîndă a ştiinţelor) nu credem că poate constitui o definiţie a unei ştiinţe, înlocuind astfel definiţia prin obiectul ei natural, aşa cum impune o concepţie materialistă consecventă.

2) *Reducerea fizicii la chimie* e o concepţie mai rar întîlnită. Aci Kedrov distinge 2 cazuri. a) *Reducerea fizicii nucleare la chimie* deoarece transformările nucleare sînt transformări de substanţă, iar acestea ar fi prin definiţie obiectul chimiei. În realitate e vorba de o greşită înţelegere a obiectului chimiei căci nu orice transformare de substanţă e obiectul chimiei b) *Reducerea fizicii moleculare la chimie.* E vorba de concepţia lui Lebedev de la începutul sec. XX care considera că fizica se ocupă de întregul domeniu infra-atomic (inclusiv fenomenele electromagnetice şi teoria cîmpului) iar dela atom în sus (deci molecula) intrăm în domeniul chimiei. Acest punct de vedere nu mai are în general aderenţi. E drept, scrie Kedrov, că greutatea specifică a fizicii clasice, moleculare, scade în dauna fizicii subatomice, moderne, dar de aci nu rezultă dispariţia fizicii moleculare, ca ramură a fizicii.

Care e obiectul fizicii şi chimiei?

Am văzut că răspunsul chimiştilor e în mare măsură unitar (transformările substanţei), pe cînd al fizicienilor, mai diferit dela un autor la altul, e mai puţin unitar şi se reduce deseori la o *înşirare* a problemelor de care se ocupă fizica, începînd cu problemele structurii materiei (substanţei) şi trecînd la cele ale diferitelor forme de energii (calorică, electrică, magnetică, luminoasă)

În ce priveşte chimia, Sahparonov analizează principalele limite ale definiţiilor curente, pentru a încheia cu concluzia că... e greu de definit chimia [42])!

I) E greşit spus că chimia e ştiinţa despre *substanţe* şi transformările lor deoarece substanţe sînt şi electronii, nucleii, cristalele, gazele, mineralele, organismele şi de ele se ocupă şi alte ştiinţe [43]).

II) Dacă e vorba de *transformările substanţelor*, de acestea se ocupă şi fizica (schimbările stărilor de agregare)

III) Se spune că chimia se ocupă de *schimbările structurilor moleculare.* Dar moleculele organice, normal nepolarizate, supuse unui cîmp electric se polarizează, adică suferă *schimbări de structură* (prin orientarea opusă a electronilor şi protonilor) care însă sînt studiate de fizica moleculară şi nu de chimie.

IV) Se spune că chimia implică *schimbarea compoziţiei moleculare.* Dar deseori în reacţii se schimbă doar cantitatea moleculelor (de ex. reacţia reciprocă $2H_2+O_2 = 2H_2O$, la temp. joasă) şi nu compoziţia lor.

V) Definiţia dată chimiei de Hegel ca ştiinţa a schimbărilor calitative sub influenţa celor cantitative nu e justă căci nu e specifică numai pentru chimie.

---

[42]) M. Sahparonov op. cit. p. 6—10.

[43]) Această obiecţie e de fapt evitată de majoritatea chimiştilor contemporani. Astfel, în definiţiile curente citate mai înainte, mulţi autori precizează că nu e vorba de substanţă, în general, ca stare a materiei de care se ocupă fizica, ci de *substanţele chimice*, adică „eşanticane omogene de materie, de compoziţie chimică practic definiă" (Linus Pauling op. cit. p. 8)

Vom încerca să răspundem la întrebarea pusă mai sus luînd în considerație raportul acestor științe 1) cu forma de mișcare a materiei 2) cu purtătorii materiali specifici și 3) cu tipul de interacțiune.

1) Considerăm că se poate vorbi de o formă chimică de mișcare a materiei — ca obiect al chimiei — deoarece avem de-a face cu o interacțiune specifică între anumiți purtători materiali, dar nu se poate vorbi de o formă de mișcare fizică. [44]). De fapt Engels vorbește de *o grupă de forme fizice de mișcare* a materiei, în care include căldura, lumina, electricitatea, magnetismul. Domeniul extrem de larg de fenomene de care se ocupă fizica — legat de foarte diferite nivele structurale ale substanței, dar și de starea de cîmp a materiei — nu reprezintă o formă unică de mișcare a materiei, ci mai multe [45]). Dar, cum am văzut, nu e absolut necesar ca fiecărei științe — fie ea fundamentală cum e fizica — să-i corespundă o formă de mișcare specifică.

În orice caz, în lămurirea mai adîncă a acestei probleme, un rol important îl va juca precizarea noțiunii de formă de mișcare a materiei, în general și îndeosebi a „formelor particulare" (subordonate formei principale, fundamentale), pentru a putea pune capăt tendinței multiplicării nelimitate a acestor forme (atît fizice cît și chimice).

2) În ce privesc *purtătorii materiali*, am văzut că forma fizică de mișcare a materiei e legată de toate nivelele structurale de la moleculă la microparticulă (în zilele noastre se vorbește și de un nivel subquantic al structurii interne a microparticolei). Dar atom și moleculele sînt în același timp și obiectul chimiei. Chimia e mișcarea (interacțiunea) atomilor, fie în interiorul unor molecule pe care le schimbă, fie ca atomi liberi ce duc la formarea de molecule noi. De aceea mulți autori consideră forma chimică de mișcare a materiei ca o *mișcare atomo-moleculară* (Stoff, Solopov) [46]). Deosebirea dintre fizică și chimie, spune Kedrov, stă în faptul că forma chimică de mișcare e caracterizată prin interacțiunea *atomilor integrali* — ca unități ce-și păstrează individualitatea („individualitate chimică" — Mendeleev) și prin *schimbarea moleculelor*, în timp ce forma fizică de mișcare a materiei se desfășoară cu *păstrarea integrității moleculelor* ce interacționează [47]) și cu *transformarea structurii atomilor*, distrugerea lor, transformarea lor unii în alții sau împărțirea lor în părțile componente [48]).

Dar mulți autori subliniază azi că problema purtătorilor materiali ai formei de mișcare chimică e mult mai complexă pentrucă aceștia nu se reduc — cum se credea la începutul sec. XX — la atomi și molecule, ci implică noi structuri, fie mai mici decît atomul (radicali liberi, ioni) care intervin în reacțiile chimice, fie forme supramoleculare (treapta structurilor polimere, a verigilor care se repetă (Dobrotin) [49]) Dobrotin mai semnalează

---

[44]) V. A. Stoff. Probl. filoz. ale șt. naturii Lito 1959 p. 99. I. Tudosesco, Ioama Smuirnov Rev. filozofia 2 1967 p. 177.

[45]) Deși nu crede că fenomenele de care se ocupă fizica ar reprezenta o eterogenitate ireductibilă, St. Popescu scrie că rămîne deschisă problema dacă există o unică formă fizică de mișcare a materiei sau mai multe și atunci de ce sînt înglobate într-o unitate (Dialectica metodelor în cercetarea științifică vol. I 1966 p. 183)

[46]) V. A. Stoff op. cit. p. 116, Solopov op. cit. p. 147. Vezi și definiția chimiei dată de Cișman (Fizica generală 1962 vol. I p. 3)

[47]) „În fizică, scrie Engels, corpurile sînt privite ca fiind invariabile din punct de vedere chimic sau indiferente (Dial. naturii p. 47)

[48]) B. M. Kedrov. Predmet... p. 345—346

[49]) R. B. Dobrotin, V. P. Barzakovski. Contribuții la problema particularităților forme chimice de mișcare a materiei Probl. filoz. 5/1963

generalitatea mai mică a proceselor chimice față de cele fizice căci există forme simple ale substanței (ca și starea de cîmp) în care lipsesc procese chimice (starea de plasmă); acestea apar doar în anumite condiții, odată cu posibilitatea legăturilor chimice între electronii de valență ai atomilor. [50]) La cealaltă extremitate, la nivelul structurilor polimere, asistăm la o anumită *degradare a formei chimice* de mișcare și trecerea ei la forma fizică.

În concluzie, fizica și chimia sînt științe care studiază forme de mișcare legate de *anumite complexe de purtători materiali.*

3) În ceea ce privește *tipul de interacțiune*, dacă acesta e specific pentru forma chimică de mișcare — interacțiunea chimică între electronii de valență ai atomilor — nu se poate spune același lucru despre fizică. Aceasta nu numai pentrucă nu poate fi vorba de un tip de interacțiune acolo unde avem de-a face cu o multitudine de forme de mișcare fizice, dar și pentrucă nu sînt încă precizate caracterele acestor forme de mișcare și nici interacțiunile lor specifice, în sensul distingerii lor de restul interacțiunilor fizice posibile între particolele materiale care sînt purtătorii materiali ai acestor forme fizice de mișcare a materiei.

Vedem deci că obiectul chimiei — spre deosebire de al fizicii — e mult mai bine precizat, e mai unitar, el studiază o anumită formă de mișcare a materiei, fiind caracterizat prin anumiți purtători materiali și o interacțiune specifică. Obiectul fizicii nu e unitar, el corespunde mai multor forme de mișcare a materiei.

Credem că explicația acestui fapt trebuie căutată — între altele — și în condițiile istorice ale apariției acestor două științe. Dacă chimia s-a ocupat — încă din perioada ei preștiințifică, ca alchimie-de transformările substanțelor, fizica a avut de la început un domeniu foarte larg — și neunitar — de preocupări, care s-a confundat pînă în sec. XIX cu întreaga natură. La acest domeniu larg, scrie Feynman, se adăugau mereu noi fenomene, ceea ce cerea eforturi mari pentru refacerea tabloului general al lumii (cum a fost cel mecanicist) în care să se poată include mereu, noile descoperiri. [51]). Noile domenii, studiate de științe ca urmare a progreselor — condiționate istoric și social — ale acestora, nu erau legate deseori de cele vechi și contribuiau astfel la *lărgirea continuă a obiectului — de la început neunitar — al fizicii.* [52]) În afară de faptul că avem de-a face cu fenomene naturale, e greu să găsim vreo altă unitate printre fenomene atît de diferite.

---

[50]) Dobrotin op. cit., p. 118

[51]) Feinmanovskie lekții po fizike M. 1965 vol. I p. 39—40

[52]) E. drept că se vorbește uneori în general de fenomene fizice. Dar de fapt acest termen e înțeles ca „transformările pe care le suferă substanțele fără să-și modifice compoziția" (Titeica-Stănescu op. cit. p. 5), adică în opoziție cu fenomenele chimice (caracterizate prin modificarea compoziției substanțelor) și nu prin alte însușiri intrinsece ale acestor fenomene.

PILE DE COMBUSTIE

Conf. *LIVIU ONICIU* Fac. de chimie a Universităţii din Cluj

Omul zilelor noastre, beneficiar al unei impresionante game de realizări caracteristice civilizaţiei moderne, este în acelaşi timp şi un apreciabil consumator de energie. De aceea este cît se poate de justificată străduinia lui de-a dezvolta, alături de tehnicile devenite clasice, noi procedee de conversie a energiei. Printre cele care promit un viitor strălucit şi o modificare substanţială a mijloacelor lui de existenţă, trebuie semnalate şi *pilele de combustie.*

* * *

În primele 6 decenii ale secolului trecut studiile efectuate asupra pilelor galvanice au permis realizarea electrolizei industriale; astfel a preparat S-te Claire — Deville primele lingouri de aluminiu. Dar marea slăbiciune a pilelor se manifesta în scumpetea curentului generat; de ex. aluminiul astfel preparat revenea mai scump decît aurul!

Situaţia se va menţine pînă în zilele noastre; timp de un secol pila electrică va fi considerată ca un generator de curent de lux, a cărei utilizare rămîne restrînsă, pentru alimentarea de consumatoare mici, portative (Preţul cca 100F/Kwh sau 20$ Kwh). Timp de un secol pila galvanică va fi uitată de cercetători, pentru că industria electrotehnică era revoluţionată de inventarea dinamului (Gramme). Se poate presupune că dacă dinamul n-ar fi existat, cercetătorii s-ar fi străduit să amelioreze generatorii chimici şi am fi salutat mai devreme apariţia noilor pile—pile de combustie — menite să aducă aîtea schimbări spectaculoase în activitatea practică a omenirii.

Preţul de cost al energiei electrice coboară vertiginos atunci cînd pila poate fi alimentată cu combustibil ieftin; aceasta este ideea de bază, revoluţionară, pe care trebuie s-o luăm în considerare la realizarea pilelor de combustie. Pilele chimice obişnuite produc energie electrică scumpă deoarece o dată cu substanţele active, costisitoare, se plăteşte şi dispozitivul folosit la exploatarea reacţiei electromotric active, toate acestea pentru a servi o singură dată, fără posibilitatea de regenerare. Or, tocmai acest dezavantaj esenţial dispare la pilele de combustie, deoarece ele se pot realimenta, pe măsură ce substanţele active se consumă. Procedeul nu are nimic comun cu acumulatoarele, în care se *înmagazinează* energia furnizată în timpul procesului de încărcare (electroliză).

Furnizîndu-li-se permanent compuşii chimici care reacţionează, pilele de combustie produc electricitate pe măsură ce reactanţii se consumă; energia electrică provine din interacţiunea substanţelor care se pot reînnoi, analog cu combustibilul dintr-un motor.

Teoretic, orice reacţie chimică poate genera energie electrică. Practic, în pilele de combustie interesează reacţiile de oxidare, deci reacţiile unor elemente sau combinaţii cu oxidanţi, printre care în primul rînd trebuie menţionat oxigenul. Energia degajată la oxidarea combustibililor, utilizată sub formă de căldură în maşinile termice, se poate transforma direct în energie electrică în pilele de combustie cu un randament net superior. Dacă luăm în considerare faptul că toate reacţiile de oxidare implică un transfer de electroni, apare limpede posibilitatea conversiei energiei chimice de oxidare în energie electrică. În orice pilă la electro-

dul de combustibil are loc oxidarea combustibilului, iar la celălalt, unde se introduce oxidantul, reducerea acestuia. În circuitul exterior electronii schimbați se mișcă de la electrodul de combustibil spre cel de oxidant, mișcarea speciilor electrochimice din electrolitul pilei avînd sens contrar. (fig. 1).

Cel mai important aspect al exploatării electrochimice a combustibililor constă în suprimarea limitării termodinamice impuse în randamentul

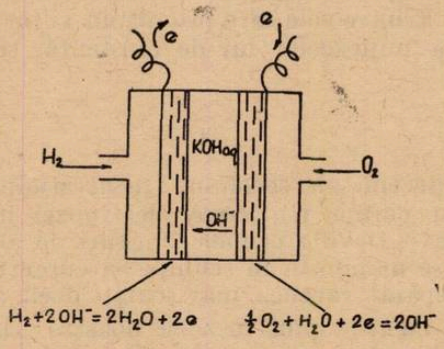


Fig. 1 Schema unei pile H_2-O_2

de funcționare de ciclul lui Carnot, deoarece energia degajată în pilă este degradată numai într-o proporție neînsemnată în căldură. Pe cînd în mașina termică travaliul util maxim $-W$ reprezintă numai o fracțiune η din variația de entalpie a ciclului Carnot corespunzător :

$$-W = \Delta H \frac{T_2 - T_1}{T_2} = \Delta H \eta \qquad (T_2 > T_1)$$

unde η este randamentul teoretic, în pila de combustie, funcționînd în condiții de reversibilitate, lucrul util $-$ zEF este egal cu entalpia liberă ΔG a reacției :

$$-zFE = \Delta G,$$

unde z este numărul de electroni schimbați, E forța electromotoare a pilei, iar F numărul lui Faraday. Cum însă

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

rezultă că

$$E = -\frac{\Delta H - T\Delta S}{zF}$$

Forțele electromotoare calculate astfel, din date termice (ΔS și ΔH sînt entropia și respectiv entalpia de reacție) sînt apropiate de 1 volt, la temperatura ambiantă, pentru diversele reacții de oxidare.

Raportul dintre energia obținută prin ardere electrochimică (ΔG) în pile și cea obținută prin ardere chimică (ΔH)

$$\frac{\Delta G}{\Delta H} = 1 - \frac{T\Delta S}{\Delta H} = \gamma$$

este determinat de entropia de reacţie şi temperatura T la care se desfăşoară reacţia. În tabelul 1 figurează date referitoare la raportul γ şi E,

Tabelul I

Reacţia	z	Δn	300°K		900° K	
			E	γ	E	γ
$C+O_2=CO_2$	4	0	1,02	1,00	1,20	1,02
$2\,C+O_2=2\,CO$	4	+1	0,70	1,25	0,98	1,75
$2\,CO+O_2=2CO_2$	4	−1	1,33	0,91	1,06	0,72
$CH_4+2\,O_2=CO_2+2\,H_2O$	8	0	1,04	1,0	1,04	1,00
$2\,H_2+O_2=2\,H_2O$	4	−1	1,18	0,94	1,03	0,80

la două temperaturi, pentru cîteva reacţii de oxidare. Se observă că γ are valori apropiate de unitate şi practic independente de temperatură, numai cînd variaţia Δn a numărului de moli de substanţe gazoase este nulă. Acelaşi lucru se constată şi pentru E. Cînd $\Delta n \leqslant 0$, atît γ cît şi E depind de temperatură, ceea ce indică alegerea temperaturilor joase pentru o cît mai completă utilizare a energiei de reacţie în procesele unde $\Delta n < 0$ şi a temperaturilor ridicate atunci cînd $\Delta n > 0$.

Deoarece însă la temperaturi joase vitezele de reacţie sînt mici, se recurge la condiţii de compromis, astfel alese încît căderea de tensiune din interiorul pilei să nu depăşească 20—30% din fem E a pilei. Există 3 factori principali responsabili pentru căderea de tensiune internă şi care reflectă ireversibilităţi în funcţionarea pilei. Ei sînt :

— supratensiunea de activare
— polarizarea de concentraţie
— rezistenţa ohmică.

Supratensiunea de activare constituie un rezultat direct al funcţionării pilei în condiţii depărtate de reversibilitate, cu o conversie a unei părţi din entalpia liberă de reacţie, în căldură. Reducerea la minim a acestei conversii în căldură impune catalizarea reacţiei. Catalizorul este esenţial şi trebuie astfel ales încît să se producă o chemisorbţie rapidă a gazului pentru a-l face activ pentru ionizare şi pentru reacţiile subsecvente cu speciile active din electrolit. De asemenea, el trebuie să fie selectiv pentru gazul care reacţionează, evitîndu-se auto-otrăvirea lui cu produşii de reacţie.

Polarizarea de concentraţie depinde de proprietăţile de transport ale sistemului ; de ex. la electrodul de gaz — de porozitatea electrodului.

Rezistenţa ohmică depinde de conductibilitatea electrolitului şi de formarea pe electrozi a unor straturi de conductibilitate redusă sau insulară.

Temperatura de funcţionare constituie un criteriu de diversificare a pilelor de combustie. Se disting astfel pile de combustie reci (care lucrează la $T \leqslant 100°C$), calde (temperatura de lucru cuprinsă între 100 şi 370°C) şi foarte calde (avînd temperatura de lucru pînă la 1100°C).

Alte criterii de clasificare sînt :

— după caracterul acid sau bazic al electrolitului : pile acide sau bazice.

— după oxidantul utilizat : pile cu oxigen, aer, H_2O_2.

— după starea electrodului de combustibil şi a combustibilului (vezi tab. 2).

Tabelul II

Electrod	Combustibil	Electrolit	Exemple
S	*G*	*L*	Pt, H_2, KOH aq
S	*L*	*L*	Fe, Na—Hg, NaOH aq
S	*S*	*L*	Zn, Zn, KOH aq
S	*G*	*S*	Pt, H_2, $CaO—ZrO_2$

Legendă : S = solid
L = lichid
G = gaz

În compararea performanţelor diverselor pile de combustie sînt utile curbele caracteristice ale acestora (*E* funcţie de densitatea de curent ; puterea funcţie de densitate de curent ; randamentul funcţie de sarcină). (fig. 2 *a*, *b*, *c*)

Tabelul 3 conţine date relative la caracteristicile unor pile de combustie şi cele ale unor generatori de energie clasici.

Tabelul III

Tip de generator	Greutate kg/kW	Preţ (F/kW)
$H_2—O_2$	10—20	200—400
Hidrazina — O_2	5—10	150—300
Metanol—O_2 (direct)	20—40	2 000
Metanol — O_2 (conversie)	15—40	1 000
Acumulator cu Pb	600*	900*
Acumulator Cd—Ni	200*	3 200*
Grup electrogen	25—70	350—1 000
Motor Diesel	3—9	50—100

*) Autonomie 10 h

Istoria pilelor de combustie începe cu Grove, în 1839, care a observat producerea curentului în momentul întreruperii electrolizei dintr-un voltametru. Hidrogenul care înconjura catodul voltametrului se combina cu oxigenul separat anodic, pentru a reforma apa, în prezenţa electrodului de platină. Dar constatarea lui Grove rămîne o simplă curiozitate ştiinţifică timp de mai bine de 100 de ani. Reînvierea ei este legată de pila hidrogen-oxigen ($H_2—O_2$) a lui Bacon (1959).

Deoarece adsorbția și ionizarea H constituie probleme de suprafață, Bacon a procedat la mărirea suprafeței active, construind electrozi cu pereți poroși, prin care se insufla H_2 și O_2. Ridicînd temperatura la 200°C a reușit să accelereze mult reacția dintre H_2 și O_2. Drept electrolit se folosea o soluție de KOH înserată în porozitățile electrozilor (de Ni și Ni + NiO + + LiOH). Rezultatele experimentărilor au fost încurajatoare : pila fur-

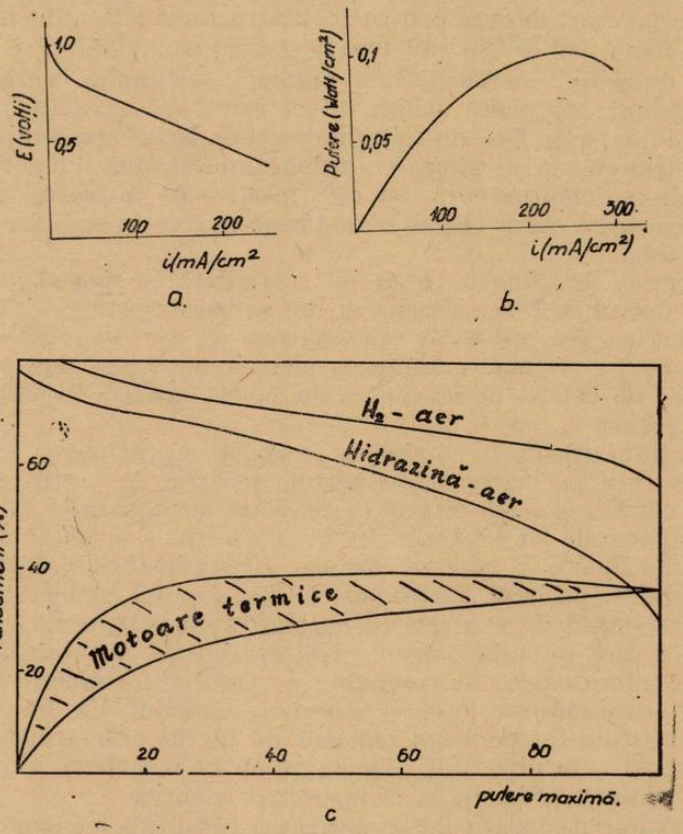


Fig. 2 Curbe caracteristice ale funcționării pilelor de combustie (a, b). Randamentul pilelor de combustie în comparație cu al motoarelor termice, în funcție de sarcină (c).

niza 1 A/cm² aparent de electrod, sub tensiunea de 0,75 V. Puteri de ordinul a 3 kW, capabile să acționeze vehicule, au fost obținute prin asocierea mai multor pile. Din păcate, formula lui Bacon — în varianta inițială — prezenta dublul dezavantaj : al presiunilor ridicate (circa 30 atm. necesare pentru evitarea fierberii electrolitului la temperatura de lucru a pilei) și a înaltei purități a gazelor de alimentare.

Cercetările ulterioare s-au îndreptat în direcția remedierii acestor dezavantaje. Azi se produc o serie de pile de combustie $H_2—O_2$ care funcționează la temperaturi mai coborîte și la presiune ordinară. Utilizarea lor în scopuri militare și în exploatarea cosmosului a devenit curentă. Cabinele Gemini și Apolo sînt alimentate de astfel de pile. Soluția este interesantă din două puncte de vedere ; în primul rînd obținerea unei cantități apreciabile de energie (1 kWh din 30 g materie primă) la o masă a generatorului

relativ mică şi în al doilea rînd, produsul de reacţie este apa, atît de preţioasă pentru cosmonauţi. La plecările de pe pămînt e mult mai raţional ca la masă egală să se transporte — izolat — componenţii, apei a căror combinare poate furniza şi *apă* şi *energie*.

Paralel cu eforturile depuse pentru perfecţionarea pilelor $H_2—O_2$, utilizînd un combustibil simplu şi reactiv, dar scump, s-au efectuat şi continuă cercetări intense pentru realizarea unor pile alimentate cu combustibili mult mai ieftini sau mai uşor de manipulat.

În domeniul combustibililor organici, metanolul constituie o bună materie primă. Se poate utiliza direct sau după prealabila conversie a amestecului cu apa. Una din soluţiile recente, bazate pe combustibil lichid relativ ieftin constă în utilizarea ciclohexanului, una din rarele hidrocarburi a căror dehidrogenare nu este însoţită de formarea unor produşi paraziţi ; în acest caz se obţine numai benzen, a cărui separare de hidrogen este uşoară.

Formula de alimentare cu NH_3, studiată în special de suedezi dă rezultate destul de bune. Electrozii sînt acoperiţi cu Ag — Pd, iar presiunea de lucru e cea ordinară. Pila livrează un curent avînd o intensitate specifică de 10 ori mai mică decît pila cu hidrogen, dar principalul ei dezavantaj nu constă în densitatea de curent mică ci în preţul ridicat al materiei prime.

Triumful pilelor de combustie ar consta în realizarea alimentării cu hidrocarburi — gaz natural sau petrol, deoarece la preţul de cost derizoriu, se adaugă şi randamentul de utilizare incomparabil superior în pile faţă de motoarele cu explozie. În SUA s-a ajuns în acest sens la unele rezultate nu lipsite de spectaculozitate. Electrolitul este alcătuit dintr-un solid refractar, pe bază de compus de Zr, capabil să lucreze la 1000°C. Acesta are formă de creuzet, ce conţine Ag lichid, care serveşte drept catod şi în care se suflă oxigen. Hidrocarbura — combustibil introdusă în partea inferioară se descompune, pe creuzet formîndu-se un depozit de carbon, care măreşte masa şi suprafaţa anodului. Un dezavantaj esenţial îl constituie temperatura ridicată de lucru, necesară de altfel — în stadiul actual — în orice pilă alimentată cu hidrocarburi, din cauza reactivităţii reduse a acestora la temperaturi coborîte.

E vrednic de menţionat că activarea catalitică la temperatura ordinară cu CH_4 a reuşit în aşa — numitele pile de combustie biochimice, în prezenţa bacteriei *pseudomonas metanica*. Electrolitul este alcătuit dintr-o soluţie apoasă de săruri anorganice, care joacă în acelaşi timp şi rolul de mediu de cultură. Bioanodul este de platină şi se cuplează cu un electrod de oxigen obişnuit. Performanţele pilei sînt modeste ($1\ \mu$ A/cm², iar E cuprins între 0,5 şi 0,6 V ; randament de transformare a entalpiei libere de ardere a $CH_4 \approx 14\%$), dar trebuie reţinută posibilitatea oxidării catalitice a CH_4 la temperatura ordinară.

Deosebit de interesante sînt pilele de combustie regenerative, în care reactanţii (combustibil şi oxidant) sînt regeneraţi din produşii de reacţie, prin folosirea unei surse de energie exterioare. Astfel este pila cu hidrură de litiu. Căldura transmisă electrolitului, care conţine HLi, de către o sursă termică exterioară, disociază LiH în H_2 şi Li. Litiul topit curge peste un anod de oţel, unde este oxidat de către hidrogen, care pătrunde printr-un electrod difuziv. Pila este regenerativă termică.

Se pot utiliza o serie de alte substanţe, cum sînt PCl_5 ($\rightleftarrows PCl_3+Cl_2$), $SnCl_4$ ($\rightleftarrows SnCl_2+Cl_2$) etc., precum şi diverse forme de energie pentru rege-

nerarea reactanților : radioactivă, luminoasă — emisă de soare (pile regenerative solare) etc. Aceste pile amintesc prin modul de funcționare de acumulatoarele electrice.

Compararea performanțelor pilelor de combustie cu cele ale generatoarelor clasice de curent, lasă să se intrevadă introducerea largă în domeniile în care se cere autonomie de funcționare. Astfel se justifică utilizarea lor în navigația cosmică, în diverse proiecte militare (echipamente radar etc.) alimentarea cu energie electrică a instalațiilor izolate, cum sînt protecția catodică, balizele marine, puțuri de petrol în mare etc. În SUA se consideră că ele vor pătrunde în scurt timp și în electrometalurgie. Se știe că fabricarea aluminiului după tehnica actuală reclamă curent continuu a cărui producere impune o serie de conversii fastidioase. Or, pila de combustie livrează direct un curent de joasă tensiune, deosebit de potrivit pentru acest scop. După estimările experților, în varianta alimentării pilelor cu gaz natural, s-ar înregistra o scădere a prețului de cost cu circa 10%, fără a socoti descongestionarea permisă de ușurința transportului gazelor (mult mai ieftin ca a energiei electrice) la distanțe mari.

Posibilitatea aplicării pilelor de combustie la mijloacele de tracțiune este evident cea mai atractivă, deoarece ea constituie cea mai importantă dintre piețele de desfacere. Dacă în marină, de ex., în domeniul navigației comerciale pilele de combustie sînt puțin rentabile din cauza prețului de investiție și de funcționare foarte ridicate, în schimb în cel al tracțiunii submarine, de mică și mijlocie putere, ele se dovedesc rentabile. Calitățile căutate : liniște, autonomie prelungită, gabarite reduse, stimulează încercările menite să înlocuiască actuala tracțiune Diesel cu pile de combustie sau motoare Stirling, energia nucleară părînd a fi rezervată, cel puțin pentru moment, navelor de mare putere. Principalele proiecte aflate în studiu urmăresc asocierea conversiei hidrocarburilor sau a metanolului cu pile $H_2—O_2$, conversia amoniacului sau adaptarea pilelor cu hidrazină.

Părerile sînt împărțite în privința propulsiei vehiculelor rutiere, dar se pare că în cazul livrărilor „din poartă în poartă", și al tracțiunii utilitare urbane avantajele asupra motoarelor clasice ar fi incontestabile. Ele ar consta în liniște, absența poluării, simplificarea sistemului de transmisie, mărirea spațiului util. De asemenea trebuie luat în considerare cîștigul de randament, avînd în vedere particularitățile traficului urban, unde generatoarele funcționează în majoritatea timpului sub sarcină mică, deci în domeniul randamentului minim pentru motoare clasice dar aproape de randamentul maxim pentru pilă. (fig. 2. *c*).

Transporturile feroviare se găsesc și ele în fața unei alegeri hotărîtoare. În Franța se recomandă experimentarea pe rețeaua națională a unor locomotive electrice alimentate cu pile de combustie. Recomandarea este din cele mai importante, avînd în vedere conjunctura creată prin dispariția viitoare a tracțiunii cu vapori și înlocuirea acesteia cu tracțiunea electrică, posibilă în două variante : prin alimentarea autonomă (Diesel electric) sau prin alimentare de la rețea. Pilele de combustie ar putea deplasa o parte importantă a traficului în profitul unei alimentări autonome. Luînd în considerare randamentele excepționale cu care debitează energie, unii întrezăresc chiar perspectiva unei reconsiderări a rețelelor de electrificare în transportul feroviar.

În sfîrșit s-ar putea lua în considerare și unele proiecte mai îndrăznețe, care ar preconiza utilizarea pilelor cu combustie pentru stocarea

energiei electrice, în modul următor : în orele de minim de consumaţie curentul furnizat de centrale ar fi folosit pentru electrolizarea apei, iar în perioadele de vîrf, oxigenul şi hidrogenul obţinute ar alimenta pile de combustie. Randamentul operaţiei este 75%, astfel că formula e atrăgătoare.

Perspectivele pilelor de combustie în înlocuirea termocentralelor trebuie considerate din alt punct de vedere. În primul rînd, pentru acest tip de aplicaţie greutatea totală a pilei nu prezintă importanţă. Factorul de cea mai mare importanţă care trebuie luat în considerare este bugetul de funcţionare, dependent de costul investiţiei, de preţul combustibilului, de randament şi bineînţeles de robusteţea (rezistenţa) instalaţiei. De aceea, pentru asemenea scopuri pilele foarte calde par a fi ele mai potrivite, deoarece ele pot fi alimentate cu combustibili industriali ieftini şi lucrează cu un randament de două ori mai mare ca al actualelor centrale. Trebuie să se menţioneze că de la o anumită putere în sus, pila poate produce căldură excedentară, care poate fi valorificată în instalaţii anexe.

O primă utilizare a pilelor foarte calde ar putea consta în alimentarea cu energie electrică a unor regiuni bogate în gaze naturale, dar rău plasate din punctul de vedere al reţelei de electrificare. Situaţia e frecventă în SUA, Africa de Nord şi alte regiuni ale lumii. Considerînd actualele preţuri, se estimează că pile avînd o putere de 500 kW ar deveni rentabile dacă amortizarea lor s-ar putea realiza în 4 ani. Dacă se prevede şi recuperarea căldurii, durata amortizării ar putea coborî chiar la 3 ani. Instalaţii din industria electrochimică sau de termoficare urbane ar putea beneficia de aceste dispozitive.

* * *

Realizările spectaculoase în domeniul pilelor de combustie, realizate în ultimul deceniu sînt legate de progrese înregistrate în diverse ramuri ale chimiei (cinetică electrochimică, cataliză ş.a.) şi au oferit soluţii ingenioase în activitatea practică a omului.

Perspectivele care se deschid sînt şi ele din cele mai atrăgătoare dar condiţionate de dificultăţi de ordin *tehnologic* — în particular reproductibilitatea electrozilor şi probleme privind dispozitivele auxiliare (de alimentare automată, reactori de conversie de combustibil îndeajuns de miniaturizaţi, regulatori de tensiune etc.), precum şi de ordin *ştiinţific*, în legătură cu materialele utilizabile în construcţia pilelor, cu preţul lor de cost şi cu disponibilitatea lor. Acestea ne obligă deocamdată ca în sisteme cum sînt pilele de combustie, caracterizate printr-un randament bun, să ardem combustibil scump, iar în sisteme clasice, cum sînt motoarele cu ardere internă, avînd randament mai mic, să ardem combustibil ieftin.

METODICA PREDĂRII NOȚIUNILOR DE OXIDARE ȘI REDUCERE ÎN ȘCOALĂ

V. GAVRIL., A. CIRLANESCU, A. CRISTESCU

(Material prezentat la consfătuirea de la Galați – 1967 –)

Studiul fenomenelor chimice în lumina noțiunilor despre oxidare și reducere are o deosebită însemnătate teoretică și practică.

Oxidarea și reducerea alcătuiesc o unitate dialectică, în cadrul căreia, cele două laturi inseparabile sînt interdependente și se condiționează reciproc.

În întreaga chimie neorganică, de pildă, orice proces de cedare de electroni — oxidare — presupune, în mod obligatoriu un proces de acceptare de electroni — reducerea. Oxidantul — ca acceptor de electroni și reducătorul — ca donator de electroni — nu-și motivează rolul decît în unitatea lor dialectică, proces redox, fiecare, considerate separat, pierzîndu-și semnificația.

Apare deci evidentă concluzia că oxidarea și reducerea se produc simultan, respectîndu-se legea generală a conservării masei substanțelor, întrucît electronii cedați de reducător sînt acceptați de oxidant.

Așa dar, însemnătatea teoretică a procesului redox constă în aceea că oferă posibilitatea unei cunoașteri aprofundate a realității, a abordării unui punct de vedere unitar în studiul fenomenelor chimice.

Din punct de vedere practic procesul redox este un auxiliar prețios în analiza chimică pentru separarea ionilor cît și pentru identificarea lor.

Materialul își propune să aducă unele aspecte din munca la catedră, în predarea procesului redox, întrucît însușirea lui temeinică evită dificultățile în înțelegerea și interpretarea fenomenelor chimice.

Deoarece noțiunile de oxidare și reducere străbat ca un fir conducător tot studiul chimiei în școală, și aceste noțiuni se îmbogățesc continuu cu fiecare temă studiată, am organizat materialul în jurul a două probleme mari.

1. — Elemente pe care se sprijină explicarea noțiunilor de oxidare și reducere.

2. — Elemente care consolidează și îmbogățesc în cuprinsul studiului chimiei noțiunile de oxidare și reducere. Se va arăta, în linii generale, ce aduce nou în dezvoltarea și consolidarea noțiunii redox, fiecare capitol studiat.

În școala generală și în liceu noțiunile de oxidare și reducere se cristalizează încă din cl. a VII-a și a VIII-a, și se amplifică, se îmbogățesc în clasele următoare.

Predînd evolutiv aceste noțiuni, elevul își însușește un material faptic, pe baza căruia se ridică la o generalizare în cl. a X-a. —

Deși oxidarea și reducerea nu sînt teme aparte de studiu în cl. a VII-a și a VIII-a, totuși elevii intuiesc fenomenul pe baza demonstrației experimentale, învățînd astfel să definească oxidarea, oxizii, reducerea. În această etapă, cunoștințele lor despre oxidare și reducere sînt simple, nefundamentate teoretic.

Începînd cu cl. a IX-a predăm elevilor noțiuni despre structura atomilor, despre sistemul periodic al elementelor și vom urmări ca aceștia să capete cunoștințe cît mai clare și complete în limita indicațiilor date de programă și ținînd seama de principiul accesibilității; aceasta va fi scopul

principal. Dar, concomitent cu aceasta, trebuie să avem în vedere de a sublinia în mod permanent toate acele noțiuni pe care le vom folosi în explicarea legăturilor chimice și formarea noțiunii de valență pe baza concepțiilor electronice. Astfel, studiul nemetalelor din cl. a IX-a îi lărgește elevului sfera cunoștințelor, oferindu-i date foarte variate. Ca exemplu, în studiul capitolului „Halogenii", profesorul trebuie să insiste asupra diverselor stări de valență ale clorului, electronegativ în compușii cu metalele și hidrogenul și electropozitiv în compușii cu oxigenul. În acest fel, transferul de electroni îi apare elevului ca o necesitate evidentă, cerută de legea conservării masei substanțelor pe care este obligat să o respecte în scrierea corectă a fenomenelor chimice.

Fundamentarea teoretică a fenomenului redox se realizează chiar de la prima lecție de chimie din cl. a X-a, cînd profesorul are prilejul să valorifice toate noțiunile anterioare ale elevilor în predarea lecției. „Dependența proprietăților substanțelor de structura atomului". Printr-o bună sistematizare a lecției elevul este pe deplin pregătit pentru a înțelege legăturile chimice în toată diversitatea lor, și numai astfel el va putea aprofunda, sub toate aspectele, fenomenul de oxido-reducere.

În predarea „Legăturilor chimice" este necesar ca profesorul să insiste asupra formelor variate de legături, încadrate de legăturile tipic ionică și tipic covalentă, care, în continuare, permit înțelegerea modului cum se comportă diversele substanțe în soluție și posibilitatea electrolizei în anumite cazuri.

Definirea electronică a fenomenului de oxido-reducere se face la tema „Electroliza" pe baza mecanismului electronic a acestui proces.

În acest capitol elevul se ridică la un înalt grad de abstractizare a noțiunilor de oxidare și reducere, pe care le deduce acum logic, reducerea fiind privită ca un proces de acceptare de electroni de la catod, iar oxidarea un proces de cedare de electroni către anod. Cationul s-a redus, anionul s-a oxidat. În mod evident elevul vede că agentul oxidant este un acceptor de electroni (anodul) iar agentul reducător este donor (catodul).

Noțiunile de oxidare, reducere, oxidant, reducător capătă un conținut nou, corelația donor-acceptor oferindu-i posibilitatea de generalizare ulterioară, ajutîndu-l în înțelegerea activă și conștientă a fenomenelor chimice, în lumina cunoștințelor de electrochimie însușite.

Procesul de oxido-reducere și înțelegerea lui corectă este legată de o aprofundare a noțiunilor de electropozitivitate și electronegativitate, în cadrul lecției despre „Proprietățile chimice ale metalelor", pe baza seriei de activități chimice a metalelor.

Știind că proprietatea de cedare de electroni este o oxidare, iar acceptarea de electroni o reducere, elevul va observa că, în seria de activități chimice, proprietatea reducătoare a metalelor scade odată cu scăderea activității.

Noțiunea de oxidare, fiind extinsă în sensul definirii de mai sus, presupune totodată o reacție de reducere. Aceasta înseamnă că fenomenul de oxidare este cuplat cu cel de reducere și elevul recunoaște procesul redox întîlnit la electroliză.

Aici sfera cunoștințelor sale se lărgește, aflînd că rolul de oxidant, adică de acceptor de electroni, revine, în general, oxigenului, halogenilor și sulfului și paralel, observînd că metalele au rol reducător în reacțiile de înlocuire a hidrogenului din apă și din acizi și a metalelor mai puțin active din sărurile lor. Exemplificînd reacțiile de mai sus și, mai ales punînd

pe elev în situația de a stabili cine se oxidează, cine se reduce, care este oxidantul și reducătorul, pe baza schimbului de electroni care are loc, profesorul realizează o fixare și deci o însușire temeinică a teoriei.

Noțiunile bine concretizate în acest capitol, ușurează înțelegerea temei, „Metode generale de obținere a metalelor din minereuri". Această lecție se poate realiza, în cea mai mare parte, cu ajutorul clasei, dacă se precizează de la început că în minereuri metalele se află sub formă de ioni și că pentru obținerea metalelor este necesară, deci, reducerea acestor ioni. Elevul va ști astfel că orice metodă de obținere a metalului liber va însemna o reducere a ionilor acestuia sub acțiunea diferiților agenți reducători. Indicînd elevilor că reducătorii cei mai folosiți sînt : carbonul, oxidul de carbon, hidrogenul, metalele, curentul electric, aceștia vor putea stabili, la tablă, mecanismul și coeficienții acestor reacții redox.

„Coroziunea electrochimică a metalelor" este un proces care trebuie de asemeni interpretat ca un fenomen redox.

Suprafața metalelor, în contact cu soluțiile bune conducătoare de electricitate, se corodează electrochimic. Coroziunii electro-chimice îi sînt supuse în special aliajele, metalele care conțin impurități, suprafața de contact între două metale diferite etc.

Între cele două metale diferite, aflate într-un mediu umed, se formează o pilă electrică, apare un flux de electroni, care se deplasează de la metalul mai activ la cel mai puțin activ. Metalele mai active joacă rol de anod, cele mai puțin active și impuritățile din metale, rol de catod. Exemplificînd pentru diferite cazuri, (zinc-cupru, aliajele de fier și carbon) elevul trage concluzia că, coroziunea electrochimică a metalelului constă în trecerea acestuia, în soluție sub formă de ioni și reducerea ionilor de hidrogen aflați în soluție.

Elevul observă că în acest caz se produc două procese pe care le cunoaște și cărora le dă înterpretarea corespunzătoare în lumina teoriei redox.

— procesul anodic (transformarea metalului într-un compus al lui) ;

— procesul catodic — (eliberarea hidrogenului pe suprafața metalului mai puțin activ).

Așa dar „Electroliza", „Proprietățile chimice ale metalelor", „Metode generale de obținere a metalelor și „Coroziunea electrochimică" reprezintă capitolele de bază, în care fenomenul redox este fundamentat teoretic, însușit corect din punct de vedere științific și aplicat în explicarea enomenelor chimice.

Astfel însușită, teoria redox, devine, pentru elev un mijloc sigur de orientare în înterpretarea oricăror fenomene chimice pe care le va întîlni în studiul sistematizat pe grupe, al metalelor din cl. a X-a.

Fenomenul de oxido-reducere apare și în chimia organică dar aic capătă aspecte specifice.

Este știut faptul că tipul de legătură chimică specifică compușilor organici este cel covalent. Participarea unui element sau a unui compus la o reacție de oxido-reducere presupune un transfer de electroni. Prin acest transfer de electroni partenerii reacției devin ioni, de unde concluzia, cel puțin aparentă, că procesul de oxido-reducere este strîns legat de capacitatea de ionizare a unui element sau a unei substanțe.

Cum în general compușii organici nu au posibilitatea de a se ioniza rezultă la prima vedere că ei nu pot participa la reacții de oxido-reducere.

Pe de altă parte este cunoscut faptul că atît reacția de oxidare cît și cea de reducere reprezintă metode curente de lucru în chimia organică preparativă. Să vedem care este sensul acestor fenomene în domeniul compușilor organici. Procesele de reducere dintre care amintim adiția de H. la dubla și tripla legătură.

$$HC \equiv C-R + H_2 \rightarrow H_2C = CH-R + H_2 \rightarrow H_3C-CH_2-R$$

transformarea aldehidelor și cetonelor în alcolii respectivi.

$$\begin{array}{l} R \\ | \\ C = O + H_2 \rightarrow H-\underset{\underset{R}{|}}{\overset{\overset{R}{|}}{C}}-OH \\ | \\ R \end{array} ; \quad \begin{array}{l} H \\ | \\ C = O + H_2 \rightarrow \underset{}{\overset{\overset{R}{|}}{C}}H_2-OH. \\ | \\ R \end{array}$$

transformarea nitroderivaților și a nitrililor în amine.

$$R-NO_2 + 3H_2 \rightarrow R-NH_2 + 2H_2O$$

$$R-C \equiv N + 2H_2 \rightarrow R-CH_2-NH_2$$

sînt de fapt reacții în care molecula organică își mărește conținutul de H_2. Preluînd terminologia clasică, acestea au fost denumite reacții de reducere.

În realitate însă toate aceste reacții sînt reacții de adiție ale H_2 la legături multiple în care chiar dacă vorbim de acțiunea reducătoare a H_2 acesteia nu-i corespunde simultan și o oxidare a sa întrucît nu are loc un transfer de electroni de la un atom la altul, ci cel mult o rearanjare a dubletelor electronice, cu formarea unor noi legături covalente $\equiv C-H$, $=N-H$, $-O-H$,

În cazul reacțiilor de oxidare constatăm o manieră analoagă a desfășurării procesului.

Oxidarea la dublă legătură

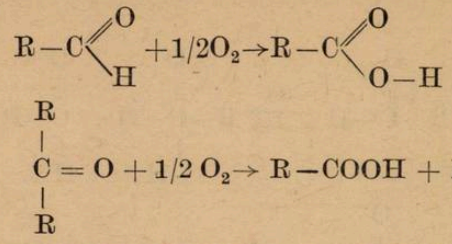
$$R-CH = CH_2 + O_2 \xrightarrow{H_2O} R-\underset{\underset{OH}{|}}{CH}-\underset{\underset{OH}{|}}{CH_2}$$

oxidarea alcoolilor primari și secundari la aldehide și cetone

$$R-CH_2-OH + 1/2O_2 \rightarrow R-C\begin{matrix} \nearrow O \\ \searrow H \end{matrix} + H_2O.$$

$$R-CHOH-R + 1/2\,O_2 \rightarrow \begin{array}{l} R \\ | \\ C = O + H_2O. \\ | \\ R \end{array}$$

sau în cazul oxidării aldehidelor şi cetonelor la acizi.



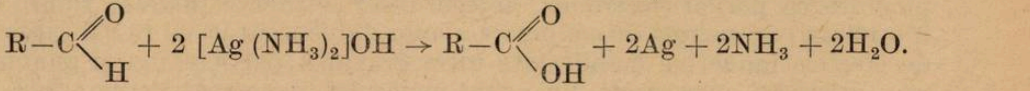
Reacţiile amintite sînt reacţii în care substanţa organică îşi micşorează conţinutul de hidrogen sau implicit îşi măreşte proporţia de oxigen. Înrudirea acestor reacţii de reducere sau oxidare cu fenomenul de oxido-reducere propriu-zis ar putea fi considerat ca efectivă în sensul că atît hidrogenul cît şi oxigenul utilizaţi ca agenţi de transformare provin de regulă din fenomene de oxido-reducere propriu-zise ca de exemplu :

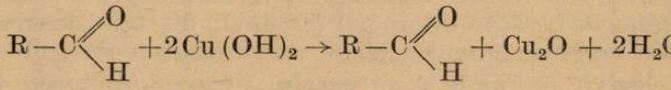
$$Fe + 2HCl = FeCl_2 + H_2 .$$

sau

$$K_2Cr_2O_7 + 4H_2SO_4 = K_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_3 + 4H_2O + 3O$$

totuşi sînt cunoscute şi în chimia organică exemple de fenomene de oxido-reducere a căror cauză o constituie anumite proprietăţi ale unora dintre compuşii chimiei organice, de exemplu caracterul reducător al aldehidelor, uşor de pus în evidenţa cu ajutorul reacţiei Fehling sau Tollens.





După modul în care ele se desfăşoară, rezultă clar că aldehidele joacă rol de reducător, oxidîndu-se pînă la acid.

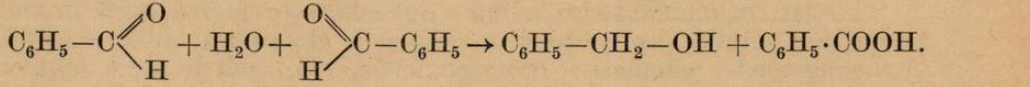
Este de menţionat că totuşi caracterul reducător a unor aldehide se datoreşte formei sale hidratate capabilă să cedeze hidrogen, iar agentul oxidant nu este decît un accceptor a hidrogenului eliminat.

În acest caz nu are loc o deplasare a electronilor şi suma numărului de oxidare a atomilor participanţi rămîne zero.

Sînt deasemenea cunoscute tot în cazul aldehidelor şi aşa numitele reacţii de oxido-reducere (Reacţia Connizzaro simplă sau mixtă).

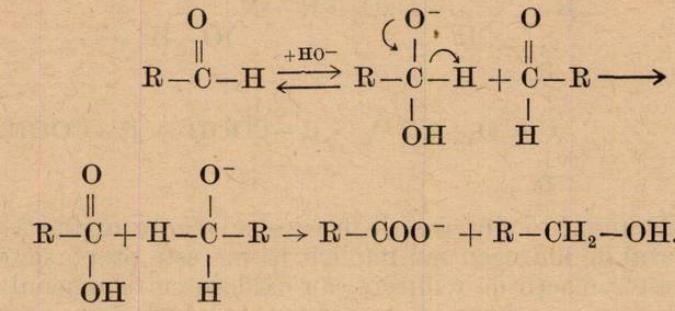
Într-o astfel de reacţie la care participă 2 molecule de benzaldehidă, una din molecule se oxidează pe seama alteia care se reduce (disproporţionare sau oxido-reducere).

Reacţia în formularea ei clasică are următorul aspect :

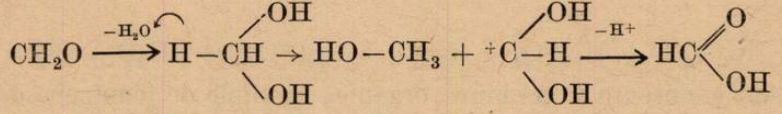


Ca în orice reacţie de oxido-reducere în una din reacţiile elementare trebue să se transfere o pereche de electroni de la o moleculă la alta. Acest transfer are loc datorită faptului că grupa $\rangle C=O$ electrofilă, adiţionează un ion de $-OH$ (reacţia avînd loc în mediu bazic).

Anionul format reacționează cu a doua moleculă de aldehidă, cedîndu-i un ion de hidrură, produșii de reacție luînd naștere în faza finală rapid.



În mod similar au loc reacții de oxido-reducere și în mediu acid. Astfel aldehida formică sub acțiunea H_2SO_4 se transformă în metanol și acid formic.



Procesele de oxido-reducere citate mai sus ca și altele neamintite pot fi mai profund înțelese dacă explicarea lor se face ținînd seama de modificarea norilor electronici, ai legăturilor covalente (diverse tipuri de hibridizări) de energia de conjugare a unor duble legături cu restul catenei, de efectele inductive manifestate între gruparea participantă și anumite particularități structurale din restul moleculei. Asemenea aspecte însă la nivelul actualei programe de învățămînt nu pot fi luate în discuție, deoarece baza teoretică a chimiei organice în sensul arătat este insuficient desvoltată.

La nivelul înțelegerii profunde a procesului de oxido-reducere în chimia organică nu se poate ajunge decît în măsura în care elevii ar studia mai aprofundat problema legăturilor chimice din punct de vedere modern (cu elemente de mecanică cuantică).

Considerăm că la nivelul cunoștințelor actuale este neapărat necesar să se precizeze elevilor că atît în chimia organică cît și în cea anorganică fenomenul de oxido-reducere e un fenomen unitar, desfășurîndu-se simultan, dar că în domeniul compușilor organici multitudinea variantelor în care acest fenomen se poate desfășura impiedică sistematizarea strictă a vastului material experimental cunoscut. Totuși credem că elevilor de la clasa XI-a li se pot prezenta aspecte mai specifice ale acestui fenomen (explicarea mecanismului reacției Tholens și Fehling). O importanță deosebită în fundamentarea cunoștințelor legate de fenomenul redox o constituie rezolvarea de probleme.

Astfel, fenomenul redox avînd o aplicabilitate foarte largă în multe ramuri ale chimiei, ca : obținerea metalelor, electroliza, analiza chimică (manganometrie, iodometrie, bromatometrie, etc.), pot fi alese probleme variate care prin rezolvare, să dea elevilor sensul importanței fenomenului redox în chimie.

Întrucît acest fel de rezolvare a problemelor prezintă un grad de dificultate relativ mare trebue mers pe linia rezolvării unui număr mare de probleme pornind de la cele mai simple și ajungînd la cele mai complexe.

În acest fel se formează la elevi și deprinderea de a munci independent, stimulînd gîndirea și facilitînd înțelegerea proceselor chimice ce vor fi predate ulterior.

Pornind de la principiul accesibilității atunci cînd se vorbește elevilor despre deosebirea dintre reacțiile redox și celelalte tipuri de reacții chimice se pot face exerciții de tipul următor:

— Să se indice care dintre reacțiile următoare sînt de tipul redox și cum se explică acest fapt?

a) $2KClO_3 = 2KCl + 3O_2$

b) $NH_4Cl = NH_3 + HCl$

c) $2NaOH + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + 2HCl$

d) $2FeCl_3 + H_2S = 2FeCl_2 + S + 2HCl$

Elevul va recunoaște că reacțiile (a) și (b) sînt reacții de oxido-reducere deoarece au loc cu schimbare de valență (schimb de electroni) Deasemeni elevul observă că reacția (a) este de un tip deosebit, înțelegînd reacțiile de dismutație în care atît oxidantul cît și reducătorul fac parte din aceași moleculă. În exemplul nostru clorul din $KClO_3$, avînd numărul de oxidare 7^+ trece la clor cu numărul de oxidare 1^- — în timp ce oxigenul din aceiaș moleculă avînd numărul de oxidare 2^- trece la oxigen elementar cu numărul de oxidare 0.

În cazul în care se constată confuzii în înțelegerea deosebirii dintre reducere și oxidare, se pot da spre rezolvare următoarele tipuri de probleme:

Să se indice care dintre schemele de mai jos reprezintă procese de oxidare și care de reducere?

$$Mn^{2+} \rightarrow Mn^{6+}$$

$$Mn^{7+} \rightarrow Mn^{6+}.$$

Din aceste exerciții reiese clar că prima schemă indică un proces de oxidare datorită creșterii numărului de oxidare realizată printr-o cedare de electroni, iar cea de a doua schemă un proces de reducere datorat unei acceptări de electroni care duce la scăderea numărului de oxidare.

Să se indice care din componentele principale în reacția:

$$3H_2S^{2-} + 2HN^{5+}O_3 \rightarrow 3S^0 + 2N^{2+}O + H_2O$$

suferă oxidare și care reducere.

Din această problemă elevul observă că sulful cedează doi ē deci se oxidează, H_2S jucînd rol de reducător în timp ce azotul acceptă trei electroni deci se reduce, HNO_3 jucînd rol de oxidant.

De asemeni în cazul ambelor exemple apare evidentă înterdependența celor două mecanisme care formează un fenomen simultan, un tot unitar.

Pentru fixarea cunoștințelor elevilor asupra deosebirii dintre oxidanți și reducători și ușurarea recunoașterii acestora pot fi efectuate și probleme de tipul:

Să se arate care dintre următorii ioni pot funcționa ca reducători și care ca oxidanți:

$$Mn^{2+}, MnO_4^-, S^{2-}, Fe^{3+}, Sn^{2+}, Fe^{2+}, I^-$$

Din această problemă elevul recunoscînd că Mn^{2+}, S^{2-}, Sn^{2+}, Fe^{2+}, I^- pot funcționa ca reducători oxidîndu-se (prin cedare de ē), în timp ce MnO_4^-, Fe^{3+} pot funcționa ca oxidanți ei reducîndu-se (prin acceptare de ē) se pot trage concluzii și asupra faptului că același element poate funcționa atît ca reducător cît și ca oxidant în funcție de numărul de oxidare.

O atenție deosebită trebuie dată deprinderii elevilor cu scrierea corectă a ecuațiilor chimice, respectiv cu stabilirea în mod logic al coeficienților substanțelor participante la procese redox.

În acest sens, pe baza principiului însușirii conștiente și active a cunoștințelor este bine să se procedeze la efectuarea unui număr cît mai mare de exerciții atît în clasă cît și prin indicarea unor exerciții ca temă pentru acasă.

Numai în acest fel, printr-un exercițiu repetat elevii se obișnuesc cu un calcul științific al coeficienților evitînd tendința de memorare a ecuațiilor chimice care ar duce la îmbibarea gîndirii elevilor.

În acest scop se poate lua orice exemplu de fenomen redox cerînd elevului să scrie ecuația chimică și să explice calcularea coeficienților.

De exemplu :

Să se calculeze coeficienții reacției de oxido-reducere a ecuației :

$$Fe^{2+}SO_4 + KMn^{7+}O_4 + H_2SO_4 \rightarrow Fe_2^{3+}(SO_4)_3 + Mn^{2+}SO_4 + K_2SO_4 + H_2O.$$

Elevul trebue să observe care este schimbul de electroni în funcție de schimbarea numerelor de oxidare. Astfel :

$$Fe^{2+} \xrightarrow{-e} Fe^{3+}$$

$$Mn^{7+} \xrightarrow{+5e} Mn^{2+}$$

Calculînd cel mai mic multiplu comun ajunge la :

$$10\,FeSO_4 + 2KMnO_4 + 8H_2SO_4 = 5Fe_2(SO_4)_3 + 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 8H_2O.$$

Exemplele fiind nenumărate, profesorul poate și trebue să folosească fiecare ocazie pentru a obișnui elevii cu acest calcul logic al coeficienților.

Avînd în vedere deosebita importanță pe scară industrială a procesului electrolitic la care principiul de bază îl constitue fenomenul redox și la acest capitol pot fi efectuate o serie de probleme care să ilustreze legătura intrinsecă dintre teorie și practică și care în același timp să creeze elevului ideea unității unei serii întregi de fenomene în care puntea de legătură o reprezintă fenomenul redox.

Un tip de problemă ce poate fi folosit în acest scop este următorul :

Prin electroliza unei soluții de $ZnSO_4$ se colectează la anod 280 cm^3 gaz. Se cere :

a) cantitatea de substanță depusă la catod.

b) cantitatea de substanță nou apărută în soluție. Schema de rezolvare a problemei :

1) Se arată care este starea inițială a sistemului pe baza cunoștințelor elevilor asupra comportării diverselor substanțe în soluție.

$$ZnSO_4 \rightleftarrows Zn^{2+} + SO_4^{2-}$$

2) Se scrie schema procesului de electroliză insistîndu-se asupra schimbului electronic dintre ioni și electrozi deosebindu-se cele două

mecanisme ce au loc la suprafață electrozilor și relevîndu-se conexiunea dintre ele în reacțiile primare :

— la catod : reducerea zincului $Zn^{2+} + 2e \rightarrow Zn$

— la anod : oxidarea oxigenului $OH^- - le^- \rightarrow OH$

$$2OH \rightarrow H_2O + 1/2O_2$$

De asemeni se scoate în evidență că spre deosebire de reacțiile primare în reacția secundară ionul SO_4^{2-}, acceptă protonii rezultați din discoierea apei, deci că nu este vorba de o reacție de oxido-reducere ca în cazul reacțiilor primare.

$$SO_4^{2-} + 2H^+ = H_2SO_4$$

3. Pe baza schemei de electroliză se calculează :

— cantitatea de zinc depusă la catod observîndu-se că schimbul de electroni fiind egal cu 2, pentru 1 atom g corespunde degajarea a 1/2 moli O_2 (11,2 litri O_2).

$$11\,200\ cm^3O_2 \ldots 65\ g\ Zn$$

$$280\ cm^3O_2 \ldots x = 1{,}625\ g\ Zn$$

— cantitatea de substanță nou apărută prin reacția secundară (H_2SO_4) conform căreia la 1 atom g de Zinc (65 g Zn) corespunde acceptarea a 2 protoni deci formarea a 1 mol H_2SO_4

$$65\ g\ Zn \ldots\ldots 98\ g\ H_2SO_4$$

$$1{,}625\ g\ Zn \ldots\ldots x = 2{,}45\ g\ H_2SO_4$$

Tot în clasa X a la capitolul privind „Proprietățile chimice ale metalelor", elevul avînd o imagine clară a noțiunii de oxidoreducere care a fost extinsă și asupra comportării metalelor în funcție de poziția lor în seria activităților chimice, este de dorit să se concretizeze aceste cunoștințe prin probleme. În acest capitol nu se poate vorbi de un tip de probleme întrucît exemplele sînt foarte numeroase și diverse.

Este de dorit, ca pentru fixarea cunoștințelor să se aleagă problemele cît mai variate pentru ca elevul să tragă concluzii generale asupra proprietăților metalelor și chiar să poată să prevadă comportarea acestora față de alte substanțe.

Astfel de probleme pot fi rezolvate fie atunci cînd se discută proprietățile generale ale metalelor cît și atunci cînd se discută fiecare metal în parte.

Întrucît o consecință a acțiunii diverselor substanțe asupra metalelor o constituie coroziunea care la rîndul ei se bazează pe un fenomen redox nu trebuie neglijată rezolvarea de probleme și la acest capitol. În acest mod elevul capătă o reprezentare științifică cantitativă a efectului coroziunii electro-chimice, o explicare științifică și concretă a acesteia în funcție de schimbul electroni realizat în sistem.

În aceste probleme este de dorit să se aleagă date apropiate de realitate pentru a nu da elevilor o imagine deformată asupra acesteia.

Spre exemplu : Două plăci egale de plumb sînt în contact cu două soluții ce conțin 0,2 mol H_2SO_4 și respectiv 0,2 moli HNO_3.

Să se spună care din plăci va fi corodată mai mult.

În rezolvarea acestei probleme elevul trebuie să scrie corect ecuațiile chimice observînd că este vorba de un fenomen redox, în care plumbul este oxidat

$$Pb^0 + 2\,H_2SO_4^{2-} = Pb^{2+}SO_4 + 2\,H_2O + SO_2$$

$$Pb^0 + 4\,HNO_3 = Pb^{2+}(NO_3)_2 + 2\,H_2O + 2\,NO_2$$

Datorită schimbului de electroni cantitativ diferit în cele două cazuri apare :

1 atom g Pb .... 2 moli H_2SO_4 ... 4 moli HNO_3

Deci 0,2 moli H_2SO_4 vor coroda 0,1 atomi g Pb iar 0,2 moli HNO_3 vor coroda 0,05 atom g Pb, deci de 2 ori mai puțin ca H_2SO_4.

Tot la capitolul metale se impune folosirea problemelor ca metodă de explicare științifică cît și ca fixare a cunoștințelor, privind obținerea metalelor. Atît atunci cînd se discută metodele generale de obținere a metalelor cît și atunci cînd se discută tehnologia fiecărui metal în parte pentru înțelegerea procesului de bază, proces redox, nu trebuie întreruptă seria de probleme.

În felul acesta elevul va reuși să generalizeze atît pe plan calitativ cît și cantitativ cunoștințele teoretice despre oxido-reducere și aplicațiile ei.

CLASIFICAREA PARTICULELOR ELEMENTARE

de *R. HEGEDUS*

Introducere

Astăzi lumea particulelor elementare s-a încurcat într-o măsură sperietoare. Epoca aceea, cînd s-a crezut că toate substanțele constau la urma urmei din protoni, neutroni și electroni, acestea fiind particulele elementare din care constă universul, s-a terminat de mult. Astăzi avem un număr mare de particule elementare și nu înțelegem esența fizică a lor (putem considera că cunoaștem în jur de 200 particule elementare). Teoria fizică din care să rezulte, ce anume particule trebuie să existe, și de ce anume există acestea, și tocmai cu proprietățile arătate de experiență, lipsește. Situația actuală seamănă foarte mult cu situația de pe vremea lui Mendeleev. Și atunci s-a cunoscut un număr mare de elemente, dar nu s-a înțeles esența fizică a legilor, care determină să avem tocmai aceste elemente și tocmai cu aceste proprietăți fizice și chimice, cum ne arată experiența.

Știm foarte bine, că înaintea modelului atomic a lui Bohr, sau înaintea mecanicii cuantice, care explică cu atîtea eleganță multitudinea atomilor, era nevoie de o sistematizare a elementelor. Acestă sistematizare a fost realizată de Mendeleev. Tabelul lui Mendeleev nu a fost stabilit pe baza unor concepții asupra structurii atomului, ci pur și simplu este o aranjare sistematică a elementelor după proprietățile lor. Această siste-

matizare este în strînsă legătură cu alegerea şi definirea unor parametri, despre care Mendeleev a observat şi despre care ulterior întreaga lume ştiinţifică a aflat, că sînt parametri caracteristici pentru fiecare element. Ne gîndim aici la noţiunea de număr de ordine în tabloul lui Mendeleev, sau la numărul coloanei, în care se află elementul respectiv.

În aceeaşi fază ne aflăm astăzi în cazul particulelor elementare. Opera lui Mendeleev trebuie realizată în epoca noastră în cazul particulelor elementare ; viitoarea teorie va trebui să se bazeze pe această sistematizare.

O primă posibilitate de clasificare este oferită de faptul că nu toate particulele participă la interacţiuni tari (o astfel de interacţiune fiind cea nucleară). Particulele care nu participă la astfel de interacţiuni, poartă numele de *leptoni* (fotoni, electron, pozitron, neutrino electronic şi antineutrino electronic, mŭon, antimŭon, neutrino mŭonic şi antineutrino mŭonic), iar cele care participă, se numesc *hadroni* (barioni, antibarioni, mezoni).

În clasificarea hadronilor s-au obţinut succese atît de remarcabile, încît anumite idei din acest domeniu al fizicii, ca de exemplu problema previziunii şi descoperirii particulei Ω sau cea a ipotezei existenţei quarkurilor, au intrat deja în literatura de popularizare. Considerăm că toţi care se ocupă de fizică, în orice domeniu al ei şi la orice nivel, au nevoie să intre în contact cu aceste idei. În acest sens dorim ca prezenta lucrare să vină în ajutor.

Izomultipleţi şi supermultipleţi de particule

Hadronii se împart în 3 categorii mari, caracterizaţi de valoarea *sarcinii barionice* B : barionii au $B = 1$, antibarionii $B = -1$ şi mezonii $B = 0$. Hadronii „clasici", protonul şi neutronul sînt barioni ($B = 1$), particulele cîmpului nuclear, adică pionii sînt mezoni ($B = 0$). Alte exemple vom găsi în expunerea ce urmează.

Considerăm protonul şi neutronul. Ştim că unul se poate transforma în celălalt, prin emisia unui electron şi neutrino sau invers (absorbţie) exact la fel, cum un atom excitat poate să se transforme în unul neexcitat prin emisie de fotoni. Primul pas pe calea sistematizării este considerarea protonului şi a neutronului ca 2 stări diferite ale unei singure particule, numite nucleon. Nucleonul se poate afla deci în 2 stări : proton şi neutron Analog, vom privi şi cei 3 pioni ca stările unui pion general.

Să reamintim noţiunea de spin, apărută la electron în legătură cu interpretarea structurii fine a spectrului hidrogenului. Dacă spinul este $\frac{1}{2}$ particula poate avea $2 \cdot \frac{1}{2} + 1 = 2$ stări, dacă spinul este 1 particula poate avea $2.1 + 1 = 3$ stări, iar spinul O indică $2.0 + 1 = 1$ stare a particulei.

Introducem acum noţiunea de *izospin* T şi vom spune că :

— Nucleonul are izospinul $T = \frac{1}{2}$ deci se poate afla în 2 stări : în starea de proton : $T_3 = \frac{1}{2}$ şi în starea de neutron : $T_3 = -\frac{1}{2}$ (T_3 fiind proiecţia izospinului pe axa z în spaţiul izospin).

— Pionul are izospinul $T = 1$ deci există 3 feluri de pioni, corespunzător cu realitatea ($T_3 = 1$ pentru π^+, $T_3 = -1$ pentru π^- și $T_3 = 0$ pentru π°).

— Pentru hiperonul Λ : $T = 0$, el existînd într-o singură formă (Λ°)

— Pentru hiperonul Σ : $T = 1$, existînd Σ^+, Σ°, Σ^-.

— Pentru hiperonul Ξ : $T = \frac{1}{2}$, existînd Ξ° și Ξ^-,

acești hiperoni fiind tot barioni cu $B = 1$.

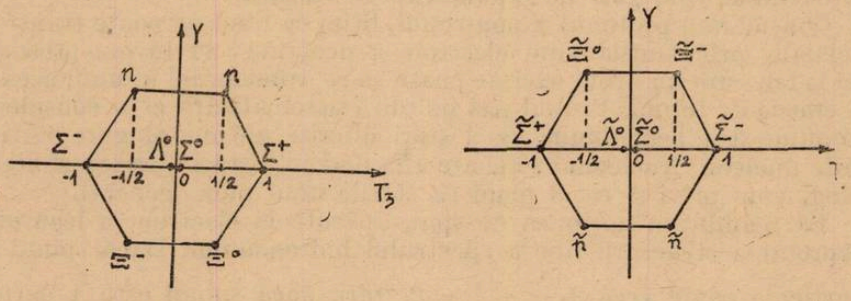
Observăm că membrii unei „izofamilii" (sau „izomultiplet") diferă între ei pe de o parte prin sarcină, pe de altă parte prin proiecția izospinului. Într-adevăr avem relația (a lui Gell-Mann)

$$Q = T_3 + \frac{B + S}{2}.$$

A apărut aici un nou număr cuantic, *stranietatea* S. La particule clasice ca : protonul, neutronul, electronul, neutrino, pionii, mezonii μ, precum și antiparticulele acestora avem $S = 0$ iar la particulele descoperite mai tîrziu $S \neq 0$. Denumirea provine de acolo că comportarea acestor particule se părea stranie cercetătorilor, obișnuiți cu particule clasice.

În formula lui Gell-Mann intervine suma $B + S = Y$, numită *hipersarcină*. În loc de a caracteriza particulele prin valorile lui B și S, se preferă de obicei B și Y. În schemele pe care le vom da, vor figura parametrii B și Y, stranietatea putînd fi calculată din $S = Y - B$.

Continuăm cu sistematizarea hadronilor. Grupăm hadronii în familii mai mari, numite *supermultipleți*. Vom încadra în cîte un supermultiplet particulele cu același B și același s (spin obișnuit). Într-un supermultiplet intră mai mulți izomultipleți (cu același izospin T) cu diferite valori ale hipersarcinii Y. Clasificarea particulelor dintr-un supermultiplet se face după T_3 și Y. Cunoscînd valorile acestora, vom reprezenta parti-



a

Fig. 1

culele într-un plan cu coordonatele T_3 și Y (un astfel de grafic fiind de fapt echivalent cu un tabel al valorilor acestor parametri pentru particulele respective). Izomultipleții vor forma rînduri paralele cu axa T_3.

Reprezentăm întîi barionii de spin $\frac{1}{2}$ (mai complet ar fi $\frac{1}{2}^+$, punînd în evidență paritatea intrinsecă a particulei). Aceștia formează un *octet* —

— hexagon cu 2 stări în centru. Antiparticulele acestora formează octetul antibarionilor.

Rezonanțele barionice, descoperite ca niște particule cu timpuri de viață foarte scurte, au spin $\frac{3}{2}$. Toate acestea formează un *decuplet* cu schemă în formă de triunghi.

Precizăm că particula din vîrful triunghiului, particula Ω^-, nu a fost cunoscută pe vremea stabilirii schemei de mai sus.

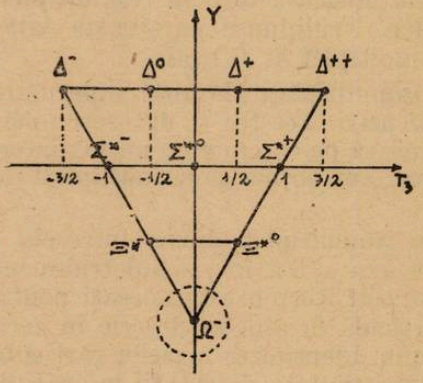


Fig. 2

Elementele decupletului antirezonanțelor (triunghi cu vîrful în sus) încă nu au fost găsite experimental, dar sîntem convinși că și acestea există în natură.

Cei mai importanți supermultipleți mezonici sînt 2 *noneți* (cu 9 elemente) : nonetul mezonilor de spin 0 și nonetul rezonanțelor mezonice de spin 1, cu schemă de aceeași formă hexagonală ca octeții barionici, dar cu 3 particule în centru. Anticipînd asupra celora ce urmează, amintim

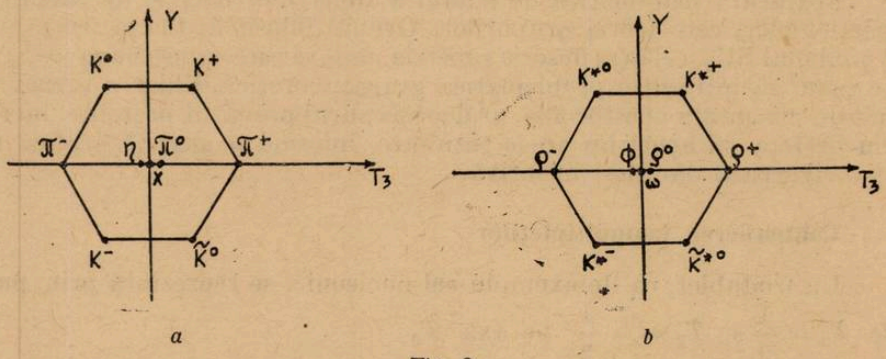


Fig. 3

deja aici, că una dintre cele 3 particule din centru trebuie considerată separat de restul de 8, așa încît în realitate noneții constau dintr-un octet și un singlet.

În cazul mezonilor particulele și antiparticulele intră în aceeași schemă, fiind reprezentate prin puncte simetrice față de origine. Particulele din centru coincid cu antiparticulele lor.

Ne limităm la sistematizarea acestor 54 de particule elementare ($2\times8+2\times10+2\times9$ dintre care 10 nedescoperite). Restul hadronilor se încadrează tot în icteți și decupleți și orice încerare de a da ceva complet, ar însemna aici complicare inutilă.

Pe lîngă cele de mai sus, particulele elementare se mai caracterizează printr-o mărime extrem de importantă, *masa* lor. Masele particulelor unui izomultiplet sînt aproape egale (de exemplu masa protonului și a neutronului). Pe de altă parte aceste particule diferă între ele prin sarcina lor electrică, adică prin felul cum participă la interacțiunea electromagnetică. Spunem că diferențele de masă într-un izomultiplet se datoresc interacțiunii electromagnetice. Neglijînd-o pe aceasta față de cea tare, masele particulelor unui izomultiplet ar fi egale.

Între diferiții izomultipleți ale unui supermultiplet avem diferențe de masă cu mult mai mari. Acestea se datoresc unei interacțiuni mai tari decît cea electromagnetică pe care o vom numi „interacțiune medie tare". Neglijînd-o pe aceasta, am obține supermultipleți de particule cu aceeași masă.

Particulele unui izomultiplet diferă între ele prin proiecția T_3 a vectorului izospin pe axa a 3-a în spațiul tridimensional al izospinului. Mărimea T a vectorului izospin este aceeași pentru tot izomultipletul. Trecerea de la o particulă la alta se descrie în această schemă printr-o rotație în spațiul izospin. Identitatea maselor particulelor unui izomultiplet este cunoscută ca „simetrie față de rotații în spațiul izospin". Am văzut că această simetrie este „ruptă" prin interacțiunea electromagnetică.

Identitatea maselor particulelor unui supermultiplet se numește „simetrie unitară". Și această simetrie este numai aproximativă, fiind „ruptă" prin interacțiunea medie tare.

În cazul cînd particulele unui multiplet (izo- sau super-) se consideră a fi compuse din alte particule, atunci identitatea maselor va însemna identitatea defectelor de masă, deci a energiilor de legătură iar simetria se va referi la interacțiunea particulelor componente.

Aparatura matematică de studiu a simetriilor deci și de clasificare a particulelor, este teoria grupurilor. Grupul folosit în teoria izospinului are simbolul SU_2, cel care descrie simetria unitară este cunoscut ca SU_3. Nu este cazul să intrăm în problematica grupal-teoretică. Chiar o prezentare oricît de succintă a acestor idei, ar depăși cadrul prevăzut prezentei lucrări. Vom prefera să urmărim unele rezultate, folosind o metodă grafică mai puțin riguroasă dar mai intuitivă.

Compunerea izomultipleților

Un izodublet, ca de exemplu cel nucleonic, se reprezintă prin punctele $T_3=\frac{1}{2}$ și $T_3=-\frac{1}{2}$ pe axa T_3:

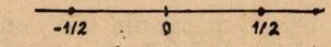


Fig. 4

Să compunem acum 2 nucleoni. Grafic va trebui să compunem 2 scheme de felul celeia de mai sus. Vom proceda în așa fel încît suprapunem

originea uneia din scheme peste stările celeilalte. Vom numi această compunere „înmulțire" de scheme.

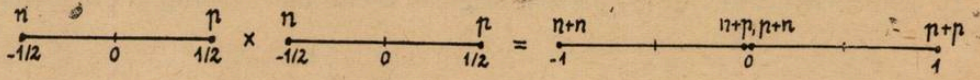


Fig. 5

Ce izofamilii formează sistemele de cîte 2 nucleoni?

Se vede ușor că există o singură posibilitate: $T_3 = 1$ și $T_3 = -1$ completat cu o stare $T_3 = 0$ formează un izotriplet $T = 1$; a mai rămas însă încă o stare $T_3 = 0$. Aceasta, rămînînd singură, nu poate fi decît un izosinglet. Deci din compunerea a 2 izodubleți, rezultă un izotriplet și un izosinglet, ceea ce obișnuim să scriem:

$$(2) \dot{\times} (2) = (3) \dot{+} (1)$$

Izosingletul p + n este tocmai deuteronul (nucleul deuteriului) iar izotripletul nu se realizează în natură ca sistem stabil.

Este foarte interesant să compunem dubletul nucleonic cu cel antinucleonic. Rezultă iarăși, după aceeași schemă, un triplet și un singlet. Toate cele 4 stări fiind caracterizate de $Y = B = 1-1 = 0$, este oarecum naturală identificarea lor cu un triplet și un singlet mezonic. S-a identificat tripletul de mai sus cu tripletul mezonilor π (pe vremea respectivă tripletul mezonilor ρ nici n-a fost cunoscut) iar singletul descrie un mezon izosinglet, de exemplu η.

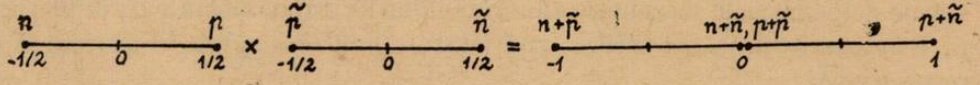


Fig. 6

În felul acesta ajungem la ideia, de a considera mezonii ca stări legate.... $N - \widetilde{N}$ (nucleon-antinucleon). De exemplu: π^+ cu $T_3 = 1$ va fi $p + \tilde{n}$ adică constă dintr-un proton și un antineutron. Masa unui mezon este însă cu mult mai mică decît masa perechii $\widetilde{N} - N$ ($\pi \to 138$ MeV, $N - \widetilde{N} \to 2.938$ MeV). Deci legătura se caracterizează printr-un defect de masă foarte mare, adică o energie de legătură foarte mare.

Compunerea supermultipleților. Modelul Sakata.

Ne rezumăm iarăși la metoda grafică. Particulele unui supermultiplet caracterizîndu-se prin 2 parametri T_3 și Y, schemele grafice vor fi bidimensionale. Cea mai simplă schemă bidimensională este triunghiulară. Ea se obține, completînd izodubletul fundamental cu un izosinglet. Această completare, precum se vede din figură, este posibilă în 2 feluri, (3) și ($\bar{3}$), în ambele cazuri centrul triunghiului fiind așezat în origine. Parametrul de pe axa verticală l-am notat cu x. Legătura acestuia cu parametrul fizic Y rămîne deocamdată o problemă deschisă.

Prin compunerea acestor 2 grafice fundamentale se pot forma schemele superioare. Considerăm ca exemplu compunerea (3) × ($\bar{3}$). În cele 3 vîrfuri ale lui (3) plasăm originea a cîte unui triunghi ($\bar{3}$). Cele

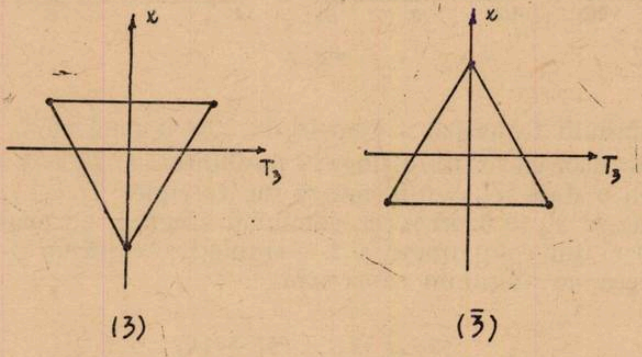


Fig. 7

9 stări formează un hexagon cu 3 stări în centru. O stare din centru formează iarăşi un singlet (singlet unitar) iar restul un octet :

$$(3) \dot{\times} (3) = (8) \dot{+} (1).$$

Identificarea celor 8 + 1 stări cu cei 9 mezoni era oarecum naturală. Stările de pe axa T_3, identificate cu pionii, provin din stările de pe laturile orizontale ale triunghiurilor. Încercăm să menţinem ideia că pionii constau din perechi $N-\widetilde{N}$ (de exemplu π^+ din p, $\widetilde{n}$) şi identificăm stările de pe laturile orizontale ale triunghiurilor fundamentale cu dubleţii p, n respectiv $\widetilde{p}$, $\widetilde{n}$. Al treilea vîrf (stare) fiind izosinglet, îi asociem Λ respectiv $\widetilde{\Lambda}$.

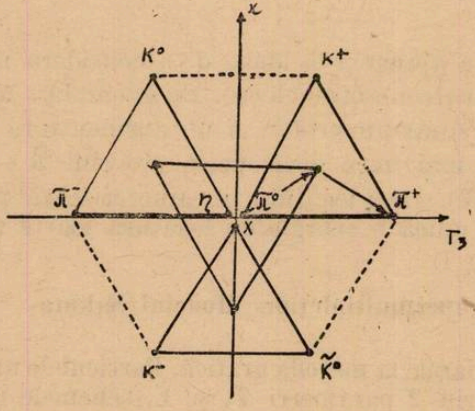


Fig. 8

Conform acestui model (al lui Sakata), care astăzi nu mai are decît importanţă istorică, hadronii p, n, $\widetilde{\Lambda}$, p, $\widetilde{n}$, $\widetilde{\Lambda}$, ar fi elementare în adevăratul sens al cuvîntului, iar celelalte particule ar fi compuse din acestea. Trecînd însă la construirea celorlalte particule, au apărut dificultăţi de

neînvins. Schema nu era în concordanţă cu realitatea.

Schema eightfold way

Începînd din 1963 s-a impus o altă linie. S-au recunoscut schemele hadronilor aşa cum le-am dat noi la începutul expunerii (reamintim că la Sakata octetul barionilor s-a descompletat prin scoaterea lui p, n şi Λ din care s-a format un triplet). Octetul barionic şi cel antibarionic au devenit octeţi fundamentali; din ei construim toate celelalte familii de hadroni. Aceasta este „calea octetului" sau „eightfold way".

Deosebit de important este aici produsul:

$$(8) \times (8) = (1) + (8) + (27) + (8) + (10) + (\overline{10})$$

Pe baza acestei scheme putem explica apariţia octeţilor şi singleţilor mezonici ($B = 0$) din compunerea octetului barionic ($B = 1$ cu cel antibarionic ($B = -1$). Amănunte, ca neapariţia unor decupleţi mezonici şi al 27-pletului se pot explica mai mult sau mai puţin logic. Tot această schemă se aplică şi la compunerea octetului barionic cu cel mezonic, dînd naştere şi la decupleţi barionici, numai că de data aceasta regulile de selecţie diferă. La acest nivel de dezvoltare a ideilor au existat numai 9 rezonanţe barionice de spin $\frac{3}{2}$, dar încrederea în schema eightfold way a făcut să se prevadă existenţa celei de a 10-a şi aceasta, Ω^-, a fost găsită în vara anului 1964.

Teoria eightfold way, bazată pe simetria unitară SU_3 a obţinut succese remarcabile. S-au putut deduce pe o cale foarte logică formulele pentru masele hadronilor care, deşi nu ne permit calcularea din teorie a spectrului de mase, livrează relaţii dintre masele particulelor în foarte bună concordanţă cu experienţa. Se mai deduc şi relaţii dintre secţiunile eficace (probabilităţile) diferitelor procese şi toate relaţiile deduse se verifică experimental destul de bine sau chiar foarte bine.

Modelul quark-urilor

Schema eightfold way sugerează o ideie foarte interesantă: posibilitatea existenţei unor particule ultraelementare din care să fie compuse particulele elementare.

Plecăm de acolo că în schema eightfold way schemele fundamentale (3) şi ($\bar{3}$) au rămas fără sens fizic (căci p, n, Λ, din modelul Sakata au trecut înapoi în octet). Din aceste scheme se construiesc toate celelalte, deci dacă le-ar corespunde particule, din ele s-ar putea construi toţi hadronii. Reamintim felul, cum schema octetului se formează din cele ale tripleţilor şi identificînd pe x cu Y, rezultă pentru tripleţi schemele alăturate. Particulele identificate cu aceste stări: q_1, q_2, q_3, $\tilde{q}_1$, $\tilde{q}_2$, $\tilde{q}_3$ ar avea hipersarcini Y neîntregi, deci conform: $Q = T_3 + \frac{Y}{2}$ şi sarcini neîntregi.

Aceste particule „ultraelementare" ipotetice poartă numele de *quark* (denumire fără înțeles, dată de Gell-Mann din S.U.A.) sau „*ace*"=fără-mitură (dată de Zweig-fizician la CERN).

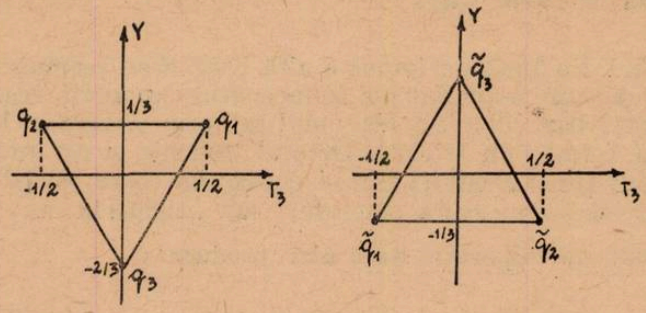


Fig. 9

Mai facem ipoteza că stranietățile quarkurilor (antiquarkurilor) coincid cu stranietățile particulelor respective din moledelul Sakata (0,0, 1 pentru p, n, Λ). Valoarea lui $B = Y - S$ rezultă a fi $\frac{1}{3}$ pentru quarkuri și $-\frac{1}{3}$ pentru antiquarkuri. Dăm un *tabel* asupra valorilor parametrilor caracteristici quarkurilor și antiquarkurilor.

	T_3	T	Y	Q	S	B
q_1	1|2	1|2	1|3	2|3	0	1|3
q_2	−1|2	1|2	1|3	−1|3	0	1|3
q_3	0	0	−2|3	−1|3	−1	1|3
$\tilde{q}_1$	−1|2	1|2	−1|3	−2|3	0	−1|3
$\tilde{q}_2$	1|2	1|2	−1|3	1|3	0	−1|3
$\tilde{q}_3$	0	0	2|3	1|3	1	−1|3

În completare mai preluăm de la modelul Sakata ipoteza că izosingletul q_3 ($\tilde{q}_3$) are masă considerabil mai mare decît masele aproximativ egale ale membrilor izodubletului q_1, q_2 ($\tilde{q}_1$, $\tilde{q}_2$). Spinul tuturor quarkurilor și antiquarkurilor se presupune a fi $-\frac{1}{2}$.

Să tratăm *problema barionilor în limbajul quarkurilor.*

Valoarea $\frac{1}{3}$ a numărului barionic la quarkuri indică faptul că va trebui să construim un barion ($B = 1$) din 3 quarkuri. Dar din 3 quarkuri diferite putem forma 10 combinații de cîte 3 quarkuri nu neapărat diferite. Reamintind că q_1, q_2 au mase aproximativ egale, iar q_3 are masă diferită,

vom trece combinațiile de cîte 3 quarkuri într-un tabel în așa fel încît în fiecare rînd să avem stări cu același număr de q_3, deci cu mase aproxi-

$$q_2\,q_2\,q_2\,(\tfrac{1}{1})\;\; q_1\,q_2\,q_2\,(\tfrac{1}{2})\;\; q_1\,q_1\,q_2\,(\tfrac{1}{2})\;\; q_1\,q_1\,q_1\,(\tfrac{1}{1})$$

$$q_2\,q_2\,q_3\,(\tfrac{1}{2})\;\; q_1\,q_2\,q_3\,(\tfrac{1}{3})\;\; q_1\,q_1\,q_3\,(\tfrac{1}{2})$$

$$q_2\,q_3\,q_3\,(\tfrac{1}{2})\;\; q_1\,q_3\,q_3\,(\tfrac{1}{2})$$

$$q_3\,q_3\,q_3\,(\tfrac{1}{1})$$

mativ egale. Trecem după fiecare simbol, în paranteză, numărul în cîte feluri poate avea combinația respectivă proiecția spinului egală cu $\frac{3}{2}$ (numărul de sus) și proiecția spinului $\frac{1}{2}$ (cel de jos). De exemplu: $q_1q_1q_2$ poate da proiecția $\frac{3}{2}$ a spinului numai într-un singur fel $q_1\uparrow q_1\uparrow q_2\uparrow$ dar spinul $\frac{1}{2}$ în 2 feluri $q_1\uparrow q_1\uparrow q_2\downarrow$ și $q_1\uparrow q_1\downarrow q_2\uparrow$ (între cele două quarkuri de același fel nu facem distincție).

Cu proiecția $\frac{3}{2}$ a spinului intervin toate combinațiile, deci avem un decuplet al barionilor cu spinul $\frac{3}{2}$ chiar în forma tabloului de mai sus, în perfectă concordanță cu realitatea. Dintre stările cu proiecția spinului egală cu $\frac{1}{2}$ cîte una aparține decupletului de spin $\frac{3}{2}$ $\left(\text{fiind proiecția } \frac{1}{2}\right.$ a vectorului $\left.\frac{3}{2}\right)$, mai rămîn însă stări cu proiecții de spin $\frac{1}{2}$ în plus. Acestea formează un tablou fără elemente de vîrf și cu stare dublă la mijloc, adică tocmai bine cunoscutul octet al barionilor de spin $\frac{1}{2}$.

$$\begin{array}{ccccc}
 & & q_1q_2q_2 & & q_1q_1q_2 \\
 & & q_1q_2q_3 & & \\
q_2q_2q_3 & & & & q_1q_1q_3 \\
 & & q_1q_2q_3 & & \\
 & & q_2q_3q_3 & & q_1q_3q_3
\end{array}$$

În mod analog antibarionii constau din 3 antiquarkuri, iar cele 9 perechi quark-antiquark, distincte între ele și posibile atît cu spinul 0 cît și cu spinul 1, reprezintă modelele de mezoni.

Menționăm că ipoteza existenței quarkurilor nu este obligatorie. Schema bazată pe quarkuri se poate privi ca un limbaj comod în „eightfold way".

Problema existenței quarkurilor rămîne deschisă. Experimental nu s-au găsit (încă?) În prezenta lucrare n-am dorit să luăm poziție în această problemă. Totuși ne permitem să reamintim că și electronul a apărut ca o particulă ipotetică cu ajutorul căreia unele fenomene se pot explica intuitiv. La început, a vorbi de electron, a însemnat numai un limbaj comod, folosirea căruia n-a însemnat neapărat credință în existența electronului. Putem folosi limbajul quarkurilor fără să fim nevoiți de a mărturisi, dacă credem sau nu în existența acestora.

BIBLIOTECA „ASTRA"
SIBIU

I.P.I. — c. 5698

43 459

Lei 3

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista
DE
FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL V

10

OCTOMBRIE 1968

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR, 23, RAION 16 FEBRUARIE, BUCUREȘTI–45, TELEFON 16.42 86

SUMAR

Blănariu Dragoș

Variațiile radiației cosmice 361

George Ionescu

Cum rezolvăm o problemă de fizică 366

Adina Cîrlănescu

Experiențe cu reactivul Schweitzer 373

M. Manolescu

Combinațiile gazelor nobile 374

T Dănilă

Interpretarea strcturii macroscopice a cîmpurilor și interacțiunea lor 379

M. Dinculescu

Structura compușilor hidrogenați ai borului 388

Simion Cosma

Contribuții la studiul precipitării ionilor de cupru. 399

COMITETUL DE REDACȚIE

Ion Agîrbiceanu, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Teodor Bohățiel**, asist. univ. — redactor; **Simion Bulgarea**, prof. **Maria Codreanu**, prof. **Nicolae Martalogu**, conf. univ.; **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C. Moisil**, conf. univ.; **Alice Negoescu**, prof.; **Ion C. Petrea**, conf. univ.; **Victor Sahini**, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România). Redactor responsabil: **Constantin D. Albu**, lector univ.

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A

Anul V, nr. 10 octombrie 1968

VARIAŢIILE RADIAŢIEI COSMICE

dr. *BLANARIU DRAGOŞ*
Universitatea „Al. I. Cuza" Iaşi

1. Chiar în primii ani după descoperirea acestei radiaţii „ultrapenetrante" care venea din exteriorul Pămîntului, s-a constatat că intensitatea ei nu este perfect constantă în timp, ci suferă anumite variaţii. Pe măsura perfecţionării mijloacelor observaţionale au putut fi determinate multe din proprietăţile acestor variaţii şi puse în legătură cu unele fenomene geo- şi astro-fizice.

Studiul variaţiilor radiaţiei cosmice a luat un mare avînt cu ocazia Anului Geofizic Internaţional (1957) cînd diferitele componente ale radiaţiei cosmice au fost urmărite în permanenţă la peste 150 de staţii speciale răspîndite pe întreg globul terestru şi echipate cu aparatură standardizată. Datorită acestui efort de cooperare internaţională, studiul variaţiilor radiaţiei cosmice a devenit la ora actuală una dintre cele mai eficace metode de cercetare a condiţiilor electromagnetice din spaţiul cosmic. Cu ajutorul acestei metode s-au obţinut preţioase informaţii asupra existenţei, mărimii şi variaţiilor vîntului de plasmă solară şi cîmpurilor magnetice legate de acestea, cu mult înaintea măsurătorilor directe efectuate abia în ultimii ani cu ajutorul sateliţilor şi navelor cosmice.

Studiul variaţiilor radiaţiei cosmice se bazează pe datele înregistrării continui şi de lungă durată a intensităţii diferitelor ei componente. Aparatura curent folosiă în acest scop este *camera de ionizare* (pentru înregistrarea componentei globale), *telescoapele de contori în coincidenţă* (pentru înregistrarea componentei mezonice) şi *monitoarele de neutroni*. Indiferent de tipul instalaţiei folosite, intensitatea componentei respective se înregistrează automat şi periodic (din ceas în ceas, de pildă). Aceasta constituie aşa numita „înregistrare brută".

2. Radiaţia cosmică primară reprezintă un flux de particule încărcate de mare energie (protoni şi nucleele unor elemente mai grele) care vin din spaţiul galactic. În sistemul nostru solar aceste particule vin într-un flux relativ constant în timp şi izotrop în spaţiu, datorită distanţelor enorme dela surse (supernavale în explozie) şi distribuţiei întîmplătoare a acestora în Univers. Există indicaţii, obţinute în special prin datarea cu C^{14} şi studierea răspîndirii izotropilor în meteoriţi, că fluxul galactic de radiaţii cosmice n-a suferit nici o modificare de intensitate în ultimii 50.000 ani.

În drumul lor pînă la punctul de observare de pe Pămînt particulele încărcate din radiaţia cosmică galactică întîmpină trei obstacole majore : vîntul solar de plasmă magnetizată, cîmpul magnetic terestru şi atmosfera Pămîntului. Primul obstacol este cel care generează o puternică anizotropie a fluxului de radiaţii cosmice galactice, anizotropie localizată în limitele sistemului solar. Gradul de anizotropie nu este con-

stant în timp, ci variază după nivelul activității Soarelui; prin aceasta intensitatea radiației cosmice galactice este modulată și pe Pămînt se înregistrează un complex de variații.

Cîmpul magnetic terestru, acționînd ca un uriaș spectrograf magnetic natural, deviază particulele încărcate din radiația cosmică primară de la traiectorile lor inițiale și împiedică ajungerea la o anumită latitudine geomagnetică a celor cu energie insuficientă străpungerii blindajului magnetic. În teoria efectelor geomagnetice, pentru fixarea acestei energii minime s-a introdus noțiunea de „rigiditate magnetică" sau „prag geomagnetic de tăiere".

În sfîrșit, învelișul gazos al Pămîntului, un mediu prin excelență neomogen și dinamic, face ca fluxul primar de radiații cosmice care a reușit să atingă vîrful atmosferei să sufere noi și radicale transformări energetice și de compoziție. Datorită extraordinarei lor energii (pînă la 10^{19} eV), particulele primare generează prin ciocniri cu moleculele de aer un mare număr de particule secundare de diferite tipuri. Procesul de multiplicare în cascadă merge crescînd de la limita atmosferei, atinge un maximum la înălțimea de cam 16 km, unde ia naștere masa principală a mezonilor, după care, datorită absorbției și dezintegrării, intensitatea scade treptat către sol.

3. Intensitatea oricărei componente (notată prin tipul i) a radiației cosmice, măsurată într-un punct cu prag geomagnetic g și altitudine h_0 se poate exprima prin:

$$N_g^i(h_0) = \int_g^\infty D(E) \cdot m^i(E, h_0) dE \tag{1}$$

în care $D(E)$ — spectrul energetic diferențial al particulelor primare, iar m^i — „multiplicitatea integrală", care exprimă numărul de particule secundare de tip i ce se formează dintr-o particulă primară de energie E.

În expresia (1) pot varia trei mărimi: multiplicitatea m^i, pragul geomagnetic g și spectrul energetic primar $D(E)$. În consecință variația intensității va fi dată de:

$$\delta N_g^i(h_0) = \int_g^\infty D(E) \delta m^i(E, h_0) dE - \delta g \cdot D(E) m^i(E, h_0) + \\ + \int_g^\infty \delta D(E) \cdot m^i(E, h_0) dE \tag{2}$$

iar variația relativă a intensității de:

$$\frac{\delta N_g^i(h_0)}{N_g^i(h_0)} = \int_g^\infty \frac{\delta m^i(E, h_0)}{m^i(E, h_0)} W_g^i(E, h_0) dE - \delta g \cdot W_g^i(E, h_0) + \\ + \int_g^\infty \frac{\delta D(E)}{D(E)} \cdot W_g^i(E, h_0) dE \tag{3}$$

În această expresie funcția

$$W_g^i(E, h_0) = \frac{D(E) \cdot m^i(E, h_0)}{N_g^i(h_0)} \tag{4}$$

se numește „coeficient de legătură" și permite determinarea variațiilor primare din cele secundare măsurate experimental, sau prezicerea variațiilor secundare așteptate pentru o variație primară dată.

Din ecuația (3) se vede că toate variațiile posibile ale radiației cosmice se împart în trei clase : I — variațiile cauzate de modificările multiplicității de generare în atmosferă, II — variațiile provocate de modificările pragului geomagnetic și III — variațiile datorite modificării spectrului energetic al radiației cosmice primare.

4. Variațiile din clasa I sînt cunoscute sub numele de „efecte meteorologice", termen care arată influența condițiilor atmosferice asupra intensității radiației cosmice. În această clasă intră „efectul barometric" și „efectul de temperatură". Primul constă în scăderea intensității radiației cosmice cu creșterea presiunii aerului și se datorește modificării absorbției masice a radiațiilor. Efectul de temperatură se manifestă în mod diferit pentru condiții experimentale diferite și constituie rezultatul concurenței dintre procesele de dezintegrare a miuonilor și cele de captură nucleară a pionilor.

Experimental efectele meteorologice se determină cu ajutorul formulei

$$\frac{\delta N\mu}{N\mu} = \beta \delta h_0 + \int_0^{h_0} \alpha(h) \delta T dh \qquad (5)$$

în care β se numește „coeficient barometric" și se obține prin metoda corelației dintre valorile intensității și presiunii atmosferice înregistrate simultan în punctul dat. $\alpha(h)$ reprezintă „densitatea coeficientului de temperatură" și se determină pe baza radiosondării atmosferei în întreaga ei secțiune verticală.

Efectele meteorologice ale radiației cosmice, adică variațiile din clasa I, au prin urmare origină pur atmosferică și n-au nici o legătură cu variațiile fluxului primar de radiații cosmice, Ele le maschează pe acestea din urmă, p rturbîndu-le în mod artificial și nedorit. De aceea înregistrarea brută oferită de un instrument oarecare trebuie corectată pentru influența atmosferei terestre. Abia după această operație de purificare, în majoritatea cazurilor destul de laborioasă, înregistrarea poate pune în evidență eventualele variații din următoarele clase.

5. Variațiile din clasa II se datoresc modificărilor pragului geomagnetic de tăiere a particulelor. Întrucît radiația cosmică reprezintă un flux de particule încărcate este evident că orice modificare a cîmpului magnetic terestru duce la o variație corespunzătoare a intensității lor.

Cîmpul geomagnetic suferă uneori importante variații de structură și intensitate. Acestea au loc mai frecvent în anii cu activitate solară ridicată ; sub influența fluxurilor corpusculare emise de formațiunile active de pe Soare cîmpul geomagnetic este comprimat și își îngustează sfera de acțiune. Perturbațiile lui se manifestă prin apariția pe Pămînt a furtunilor magnetice, a aureorelor polare și a perturbațiilor ionosferice și radiofonice. Cu această ocazie pragul geomagnetic al particulelor din radiația cosmică primară se micșorează timp de cîteva ore și intensitatea lor suferă o creștere tranzitorie corespunzătoare.

6. Dacă din datele înregistrării se elimină variațiile din primele două clase, atunci ele pun în evidență variațiile din clasa III. Acestea pot fi împărțite la rîndul lor în subclasele :

a) efectele de modulare în sistemul solar a fluxului relativ constant de radiații cosmice galactice,

b) generarea de către Soare a unor radiații cosmice cu energie moderată și

c) anizotropia fluxului galactic de radiații cosmice.

Din subclasa a) fac parte:

= *Variația diurnă solară*: intensitatea tuturor componentelor din radiația cosmică detectată pe Pămînt este cu cîteva zecimi de procent mai mare după amiaza decît dimineața (în timp local).

= *Variația de 27 zile*: intensitatea radiației cosmice prezintă o vizibilă tendință de repetare cu perioada de 27 zile, mai pronunțată în anii cu activitate solară ridicată.

= *Variația seculară* (*de 11 ani*): intensitatea radiației cosmice este cu aproximativ 1% mai mare în anii cu activitate solară minimă și urmează un același ciclu, dar cu efect invers.

= *Efectul Forbush*: în timpul anumitor furtuni magnetice (a celor cu început brusc) intensitatea cosmice scade cu cîteva procente pe timp de mai multe ore, după care revine lent la valoarea normală, în decurs de cîteva zile.

Efectele de modulare a radiației cosmice în sistemul nostru solar sînt strîns legate între ele și reflectă interacțiunea radiației cosmice cu norii de plasmă solară magnetizată. După datele actuale, fluxul acestor „neomogenități" magnetice, prezente peste tot în spațiul interplanetar, constă din trei părți:

1) o componentă *permanentă*, aproape simetrică, a cărei intensitate depinde de nivelul general al activității Soarelui, dar nu e legată nemijlocit de anumite formațiuni active;

2) o componentă *recurentă*, care constă din fluxurile corpusculare cu durată mare de viață generate de petele solare și

3) o componentă *nerecurentă* produsă ocazional de către marile erupții cromosferice.

Componenta permanentă a norilor de plasmă solară, față de care Pămîntul execută o complicată mișcare (cu atît mai complicată cu cît axa de rotație nu este perpendiculară pe planul eclipticii și nici nu coincide cu axa magnetică) duce la apariția variației diurne solare. Componenta recurentă, datorită asimetriei longitudinale a distribuției petelor pe discul solar, cauzează variația de 27 zile (perioada de rotație a Soarelui în jurul propriei lui axe). Componenta nerecurentă duce la apariția efectelor Forbish. Iar acțiunea simultană a tuturor celor trei componente provoacă variația seculară a radiației cosmice, precum și creșterea treptată a intensității cu distanța de la Soare și de la planul eclipticii. La maximul activității solare o parte din radiația cosmică galactică este difuzată de plasma solară și împiedicată să ajungă în vecinătatea Pămîntului. În perioadele de minim spațiul interplanetar este relativ „curat" și radiația cosmică își atinge tensitatea maxină cu care vine în sistemul solar.

7. În legătură cu variațiile din subclasa b), s-a constatat că uneori Soarele devine el însuși o sursă de radiații cosmice. Cu ocazia marilor erupții cromosferice, în special a celor ce se produc în partea vestică a discului solar, apreciabile cantități de protoni cu energii de cîțiva GeV pot ajunge în vecinătatea Pămîntului și declanșa adevărate „furtuni de radiații cosmice". În asemenea cazuri creșterile de scurtă durată (cîteva ore sau zeci de ore) a intensității radiației cosmice pot atinge zeci și chiar sute de procente.

În spațiul interplanetar, dincolo de învelișul protector al atmosferei terestre, asemenea furtuni de radiații cosmice pot constitui un real pericol de iradiere pentru navele cosmice cu oameni la bord. Din fericire frecvența marilor furtuni de radiații cosmice este foarte mică : pînă în prezent s-au înregistrat doar 12 cazuri, dintre care cel din 23 februarie 1956 a fost cel mai intens.

Studiul radiației cosmice de origină solară este de mare importanță teoretică și practică. Transportul ei direct către Pămînt, prin cîmpul geomagnetic și interplanetar permite precizarea multora din proprietățile acestuia din urmă, pe o scară mult mai mare decît o pot face la ora actuală sondele cosmice lansate către cele mai apropiate planete.

8. Variațiile din clasa III-c sînt de origină extrasolară și se datoresc anizotropiei fluxului galactic. Cu toată distribuția întîmplătoare a surselor de radiații cosmice în Galaxie, fluxul din centrul ei trebuie să fie mai intens decît cel din regiunile periferice.

Punerea în evidență a acestei anizotropii este însă o problemă foarte dificilă. Așezat în imediata apropiere a Soarelui Pămîntul este permanent învăluit în norii de plasmă care difuzează particulele galactice și face imposibilă observarea fluxului din centrul Galaxiei. Situația se îmbunătățește însă în oarecare măsură în perioadele de activitate solară minimă cînd vîntul solar își pierde din intensitate.

În primăvara anului 1954, la minimul cel mai profund al ciclului solar, variația diurnă măsurată experimental nu mai avea maximul în orele de după amiază, ca de obicei, ci dimineața, pe la ora 6 (în timp local). În vara aceluiași an maximul undei diurne s-a deplasat către miezul nopții, iar în lunile de toamnă a revenit în orele de după amiază. Ori tocmai vara la orele 24, primăvară la orele 6 și toamna la orele 18 meridianul locului intersectează linia Pămînt-centrul Galaxiei.

Prin aceasta s-a reușit să se pună experimental în evidență anizotropia fluxului galactic de radiații cosmice, variație considerată pînă atunci doar ipotetică. Observațiile au fost repetate și în cursul anului 1964, la minimul ciclului următor al Soarelui și au dat aceleași rezultate.

9. Ca o remarcă finală mai amintim că efectele de modulare în sistemul nostru solar a radiației cosmice galactice nu pot fi explicate cu ajutorul nici unor formațiuni magnetice statice. Aceasta pentru că datorită cvaziizotropiei fluxului galactic, intensitatea radiației cosmice în interiorul sistemului solar ar trebui să se egalizeze într-un timp scurt, înainte de a ajunge în vecinătatea Pămîntului. Efectele de modulare au un caracter dinamic și sînt explicate prin *mișcarea* în spațiul interplanetar a cîmpurilor magnetice „înghețate" în fluxurile corpusculare emise de Soare. Aceste rezultate obținute mai demult din studiul diferitelor variații ale radiației cosmice au fost confirmate în ultimii ani de măsurătorile directe efectuate în spațiul interplanetar cu ajutorul sateliților și sondelor cosmice.

CUM REZOLVĂM O PROBLEMĂ DE FIZICĂ?

GEORGE IONESCU
Inst. Politehnic „Gh. Gheorghiu-Dej" Bucureşti

Interesanta lucrare a lui G. Pòlya : „Cum rezolvăm o problemă", tratează rezolvarea problemelor de matematică. In a sa „variantă prescurtată" autorul stabileşte mai multe etape de rezolvare şi anume :

1. Căutăm să înţelegem problema.
2. Găsim calea de la necunoscută la date, considerînd eventual, probleme intermediare („analiză").
3. Realizăm ideea soluţiei („sinteză").
4. Verificăm rezultatul şi îl apreciem critic.

Fără a nega complexitatea şi înaltul grad de abstracţie al problemelor şi mărimilor matematice, subliniem aici că fizica pune probleme mult mai complexe. Matematica sbstractizează şi generalizează, dar şi simplifică noţiunile cu ajutorul cărora studiază lumea ce ne înconjoară. Fizica nu poate face întotdeauna acelaşi lucru ; ei i se cere să descrie fenomene extrem de complexe într-o manieră simplă şi inteligibilă, dar totuşi riguroasă ; ea trebuie să redea un fenomen folosind doar cîteva noţiuni. Dar oare pot descrie aceste noţiuni toate aspectele fenomenului studiat? Nu întotdeauna, şi în orice caz, niciodată complet.

Apreciem că acesta este principalul motiv pentru care fizica, ca ştiinţă a tuturor fenomenelor fizice (adică mecanice, acustice, termice, optice, electrice, atomice, nucleare ş.a.m.d.), este mai greu de studiat decît matematica, ştiinţa generală a relaţiilor care există între noţiuni şi studiu al figurilor. Orice ar spune matematicienii, mărimile matematice sînt pînă la urmă luate din realitate, reprezentînd generalizări sau abstracţiuni ale acesteia*), sau cu un alt termen, simpeificări ale reprezentărilor realităţii, necesare formulării matematice.

Probabil că tocmai această complexitate reală a fenomenelor fizice, face ca elevul de liceu să nu posede, de cele mai multe ori, o metodă suficient de bine pusă la punct pentru a rezolva, sau cel puţin pentru a ataca problemele de fizică. În general, exerciţiile de fizică din manualele de şcoală medie sînt fie simple aplicaţii numerice ale unor formule (de multe ori prezentate fără demonstraţie, ca de exemplu în manualul de electricitate), fie exerciţii de algebră, în care mărimile fizice sînt de cele mai multe ori confundate de elevi cu simbolurile matematice.

Faptul că elevilor de liceu nu li se indică modul sistematic de rezolvare al exerciţiilor şi problemelor de fizică, face ca nu de puţine ori, elevii bine cotaţi la această disciplină în şcoala medie, să nu facă faţă fie examenelor de admitere în învăţămîntul superior, fie după admiterea în învăţămîntul superior.

Toate aceste motive şi considerente, ne-au făcut să aşternem rîndurile de mai jos, în speranţa că vor fi de folos la predarea fizicii în învăţămîntul mediu.

A. *Introducere*

1. Orice mărime fizică, se poate scrie sub forma simbolului :

$$A = a \cdot \alpha$$

*) V. şi Engels : Dialectica Naturii, pag. 253 „Matematica" Ed. 1959.

unde A este mărimea fizică, iar α este unitatea de măsură folosită. Evident, exprimînd o aceeaşi mărime cu ajutorul a două unităţi de măsură, valorile mărimii se schimbă :

$$A = a_1\alpha_1 = a_2\alpha_2$$

(De exemplu : $G = 60$ kg $= 0{,}06$ tone $= 60.000$ g)

A măsura o mărime fizică înseamnă a o compara cu o mărime de acelaşi fel, aleasă în mod convenţional şi istoric ca unitate de măsură**).

2. Valoarea a, a unei mărimi fizice, trebuie scrisă sub forma :

$$a = a_0, a_1 \ldots a_p \cdot 10^n$$

unde a_0 este aşa numita cifră caracteristică a valorii

— $a_1 \ldots a_p$ se numeşte, ca şi la logaritm, mantisă ;

— indicele p are rolul special de a ne arăta care este gradul de precizie al valorii măsurate. Dacă $p = 1$, adică avem o singură zecimală, precizia este de circa $+10$ %, două zecimale indică o precizie de 1%, ş.a.m.d. Orice mărime fizică măsurată cu un aparat, oricît de precis, nu poate avea decît un număr limitat de zecimale, din cauza preciziei limitate a aparatului.

— 10^n ne indică ordinul de mărime al mărimii măsurate.

Introducerea ordinului de mărime din cauza gamei limitate de multipli şi submultipli ai unei mărimi, pe cînd mărimile fizice tind spre incomensurabil (în astronomie) şi infinit mic (în fizica nucleară). Spre exemplu constanta lui Planck,

$$h = (6{,}2517 \pm 0{,}00023) \cdot 10^{-27} \text{ erg.s. (cf. J. H.)}$$

Sanders, The fundamental atomic constants, Oxford Univ. Press, 1961), are cifra carcteristică 6, ordinul de precizie 4 (precizie 10^{-4}), fiind precizată pînă la a patra zecimală, şi ordinul de mărime 10^{-27} în sistemul C G S.

3. Reamintim că numim sistem complet de unităţi de măsură, sistemul de unităţi în care se definesc în mod coerent toate unităţile de măsură pentru mărimile fundamentale, şi de aici, cu ajutorul relaţiilor de definiţie, toate unităţile pentru mărimile derivate, sau secundare. Prin mărimi primitive sau fundamentale, înţelegem mărimile care nu pot fi definite cu ajutorul altor mărimi, cum ar fi de exemplu în mecanică, lungimea, masa şi timpul ; în electricitate, sarcina sau curentul electric ; în termodinamică, se adaugă temperatura absolută, iar în optică intensitatea luminoasă, aceste mărimi constituind mărimile fundamentale ale fizicii macroscopice (v. şi STAS 767-62). Mărimile secundare se definesc din cele fundamentale cu ajutorul unor relaţii numite „relaţii de definiţie", care au nemijlocit la bază un rezultat experimental, deşi aparent pare că ar fi posibilă definirea oricărei mărimi secundare, prin relaţii arbitrar alese. De exemplu se introduc mărimile $v = s/t$ (viteza pentru definirea spaţiului străbătut în unitatea de timp, $a = v/t$ (acceleraţia), pentru creşterea vitezei în unitatea de timp, $F = ma$ pentru forţă, ca rezultat al unui experiment imaginat în care raportul dintre

**) Convenţional, întrucît la baza alegerii ei stă o convenţie, adoptată din motive de necesitate, comoditate, realizării de etaloane, etc. ; istoric, deoarece conţinutul definiţiilor se schimbă în timp, în sensul precizării lor.

forță, considerată ca mărime primitivă, și accelerația imprimată unui anumit corp, este o constantă, adică experiența ne arată că :

$$\frac{F_1}{a_1} = \frac{F_2}{a_2} \ldots = \frac{F_n}{a_n} = \text{const.}$$

constanta respectivă fiind caracteristică unui anumit corp, și numită „masă inertă" ; această mărime este de fapt un mod de a introduce calitatea corpurilor de a fi „inerte", în relații cantitative, scriind prin generalizare : $F = m \cdot a$.

În mod analog, observînd constanța raportului dintre sarcina de pe plăcile unui condensator și tensiunea aplicată între acestea, se introduce noțiunea de „capacitate electrostatică", $C = \frac{Q}{V_1 - V_2}$, apoi inductanța ca raportul constant dintre fluxul magnetic și curentul care îl produce, $L = \frac{\Delta \Phi}{\Delta I}$ etc.

Numărul de mărimi care pot fi introduse în fizică este deci dintr-o dată redus față de cel din matematică, în fizică neavînd sens introducerea unor mărimi derivate ca :

$$\frac{S^2}{t^3}, \text{ sau } \frac{Q^5}{(V_1 - V_2)^6},$$

deși matematic, aceste expresii sînt la fel de valabile ca și celelalte.

Dacă exprimăm mărimile secundare în funcție de cele fundamentale fără a mai ține seama de valorile și unitățile lor, zicem că am determinat „dimensiunile' mărimii secundare ; astfel, viteza va avea dimensiunile $[v] = LT^{-2}$, accelerația $[a] = LT^{-1}$, forța $[F] = MLT^{-2}$, etc.

3. Relațiile din fizică, se împart în legi și teoreme, după același criteriu ca și în matematică ; se numesc *teoreme* relațiile care pot fi deduse din alte relații mai generale, pe cînd *legile* (cărora în matematică le corespund axiomele sau postulatele), nu pot fi deduse din alte relații, verificarea lor putîndu-se face numai prin experiență (verificarea prin experiență constituie în fond, deosebirea fundamentală dintre legile fizicii, care se verifică *direct* în practică, și legile matematicii, care se verifică numai *indirect*, ca experiență umană generalizată).

B. Abia acum, după această largă introducere, putem expune modul de rezolvare al problemelor de fizică, ținînd seama de diferențele existente între mărimile matematice și cele fizice, ca și de specificul deosebit al celor două discipline. Iată punctele propuse, care se pot schimba în funcție de specificul problemei :

1. Sintetizăm datele, adică stabilim cu precizie ce se dă și ce se cere ; aceste punct reproduce punctul : „căutăm și înțelegem problema", primul din cele patru puncte ale lui Pòlya.

2. Alegem un sistem coerent de unități de măsură, și trecem toate datele în acest sistem de unități de măsură. (Remarcăm aici că cel puțin 50 % din greșelile făcute la rezolvarea exercițiilor și problemelor de fizică se datoresc nerespectării acestui punct).

3. Alegem un sistem convenabil de axe de referință, compus după caz din una, două sau trei axe, după cum problema este pe o curbă, pe o suprafață, sau în spațiu. Necesitatea folosirii unui sistem de axe

de referinţă este datorită caracterului vectorial sau tensorial al celei mai mari părţi dintre mărimile mecanicii, opticii sau electricităţii.

4. Scriem relaţiile care credem că ne-ar putea servi la rezolvarea problemei, sau la deducerea ecuaţiilor necesare. Alegem apoi relaţiile care formează un sistem independent.

5. Înlocuim în sistemul de ecuaţii obţinut, datele problemei. Dacă :

a) problema este corect dată ;

b) relaţiile au fost bine alese ;

c) înlocuirea datelor a fost corect făcută,

trebuie să rezulte un sistem compatibil de ecuaţii (de obicei, în şcoala medie, liniare). (Acest punct corespunde ca idee cu punctul doi din metoda lui Pòlya).

Obţinerea sistemului intermediar compatibil, constituie un criteriu sigur că sîntem pe drumul cel bun, şi o primă verificare a corectitudinii rezolvării.

6. Se rezolvă sistemul obţinut.

7. Verificăm rezultatul obţinut. Sîntem de părere că verificarea trebuie făcută direct în problemă, şi nu în sistemul compatibil intermediar, pentru a putea evita greşelile (eventuale) făcute la stabilirea acestui sistem.

La problemele de fizică, verificarea se face în trei etape :

a) din punct de vedere dimensional (o viteză avînd dimensiunea L^2T^{-1} ne indică imediat prezenţa unei greşeli) ;

b) din punct de vedere al unităţilor (o forţă exprimată în atmosfere ne indică de exemplu faptul că nu am făcut reducerea unor suprafeţe, etc.).

c) abia acum se poate face verificarea numerică, întrucît comparare valorii a două mărimi fizice nu are nici un sens dacă ambele mărimi nu sînt exprimate în aceleaşi unităţi de măsură.

C. Să aplicăm cele spuse mai înainte, la studiul efectului Compton.

Acest efect constă în apariţia unor cuante de lungimi de undă mai mari decît cele incidente, în fascicolul de radiaţii difuzat de un material, sub un anumit unghi O (vezi fig. 1).

Remarcăm că :

1) Fenomenul făcînd să intervină energii şi viteze mari (cuantele γ, de origine electromagnetică, se propagă cu viteza luminii), fenomenul nu mai poate fi descris cu ajutorul noţiunilor fizicii clasice, ci va trebui să folosim noţiunile fizicii relativiste. Vom ţine seama deci în scrierea relaţiilor de conservare, că în relativitatea restrînsă nu se conservă decît trei mărimi :

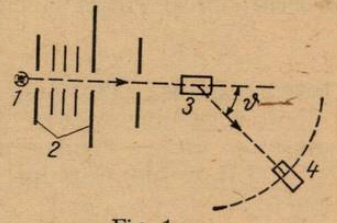


Fig. 1

a) energia ;

b) impulsul ;

c) sarcina electrică ;

toate celelalte mărimi fiind mărimi variabile în teoria relativităţii restrînse.

Pentru a explica de exemplu modul în care depinde variaţia (creşterea) lungimii de undă a cuantelor γ împrăştiate de unghiul de împrăştiere ϑ, vom observa că împrăştierea cuantelor γ trebuie să se producă mai ales pe electroni ; pe de altă parte, interacţiunea avînd loc la energii mari, electronii pot fi consideraţi ca fiind liberi, nelegaţi de nucleu. Cu acestea am efectuat în linii mari, sintetizarea datelor.

2. Alegem ca sistem de unităţi de măsură sistemul CGS.

3. Conform postulatului lui de Broglie, fiecare cuantă are asociat un impuls $p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\nu}{c}$, unde h este constanta lui Planck, λ este lungimea de undă, ν este frecvenţa iar c este viteza luminii în vid.

Vom mai observa că întrucît intervin trei impulsuri (al cuantei incidente, care se împarte apoi între electronul reculat şi cuanta energentă (vezi fig. 2), şi întrucît o mărime vectorială nu poate fi suma altor două decît dacă cei trei vectori se află în acelaşi plan, va trebui ca cei trei vectori impuls să se afle în acelaşi plan. Vom alege acest plan ca plan al axelor ox, oy cu axa ox orientată în lungul direcţiei de propagare a cuantei incidente; cu aceasta am efectuat şi alegerea axelor de coordonate.

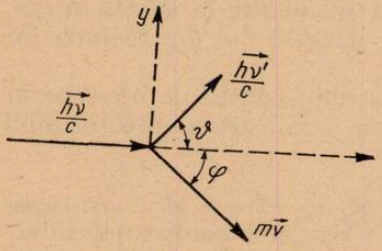


Fig. 2

4. Să scriem relaţiile care credem că ne-ar putea servi la aflarea relaţiei de legătură dintre creşterea lungimii de undă, $\Delta\lambda$, şi unghiul de împrăştiere ϑ al cuantei γ' energente. Vom scrie că:

1) Energia se conservă:

$h\nu + m_0c^2 = h\nu' + mc^2$ unde m_0c^2 este energia de repaos a electronului, iar mc^2 este energia lui de mişcare.

2) Impulsul se conservă

$$\frac{h\nu}{c} = mv\cos\varphi + \frac{h\nu'}{c}\cos\theta \text{ (proiecţie pe axa ox)}$$

$$o = \frac{h\nu'}{c}\sin\theta - mv\sin\varphi \text{ (proiecţia pe axa oy).}$$

3) La aceste ecuaţii se adaugă relaţia de legătură dintre masa de mişcare m şi viteza electronului: $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$, cunoscută din relativitatea restrînsă. Obţinem deci un sistem de 4 ecuaţii cu 5 necunoscute ν', ϑ, φ, m, v), unde ν' este frecvenţa cuantei energente, iar m şi v sînt masa şi viteza electronului care a interacţionat cu cuanta γ.

Eliminînd unghiul φ între ecuaţiile proiecţiilor impulsului, obţinem:

$$m^2v^2 = \frac{h^2\nu^2}{c^2} + \frac{h^2v'^2}{c^2} - 2h^2\frac{\nu\nu'}{c^2}\cos\varphi$$

Ridicînd la patrat ecuaţia de conservare a energiei, din care am izolat mc^2, obţinem:

$$m^2c^4 = h^2(\nu - \nu')^2 + 2h(\nu - \nu')\,m_0c^2 + m_0^2c^2$$

Dar:

$$m^2c^4 - m_0^2c^4 = m_0^2c^4\left(\frac{1}{1-\beta^2} - 1\right) = \frac{m_0^3c^4\beta^2}{1-\beta^2} = m^2v^2c^2$$

Deci :

$$m^2v^2c^2 = h^2(\nu - \nu')^2 + 2h(\nu - \nu')\, m_0c^2$$

Dar din legea de conservare a impulsului, obţinem :

$$\underline{m^2v^2c^2 = h^2\nu^2 + h^2\nu'^2 - 2h^2\,\nu\nu'\cos}$$

şi egalînd cele două expresii, obţinem :

$$h^2v^2 - 2h^2\nu\nu' + h^2\nu'^2 + 2h\,(\nu - \nu')\, m_0c^2 = h^2\,\nu^2 + h^2\nu'^2 - 2h^2\,\nu\nu'\cos\varphi$$

De unde :

$$2h(\nu - \nu')\, m_0c^2 = 2h^2\,\nu\nu'(1 - \cos\varphi),$$

sau :

$$\frac{\nu - \nu'}{\nu\nu} = \frac{h}{m_0c^2}(1 - \cos),$$

(unde $\nu' < \nu$, căci energia cuantei scade în urma interacţiunii)

De aici :

$$\frac{c}{\nu'} - \frac{c}{\nu} = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\varphi) = \lambda' - \lambda$$

Rezultă

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\varphi)$$

Remarcăm între altele că teoria cuantelor explică efectul Compton, pe cînd teoria ondulatorie nu îl poate explica.

5. Înlocuirea datelor problemei (care în cazul nostru erau frecvenţa ν (sau lungimea de undă) a cuantei incidente, şi unghiul de împrăştiere θ al cuantei energente ne-a permis să obţinem sistemul compatibil de ecuaţii 1)...3) cu soluţia 4. Adică, conform punctului 5 al rezolvării :

a) problema a fost corect pusă ;

b) relaţiile au fost bine alese, şi

c) a rezultat un sistem compatibil de ecuaţii, prin a cărui rezolvare (punctul 6) am obţinut soluţia (4).

Putem efectua acum şi aplicaţii numerice ; să calculăm de exemplu cu cît este egală creşterea lungimii de undă a unei cuante energente la un unghi de 45° faţă de direcţia cuantei incidente.

Făcînd înlocuirile, obţinem :

$$\Delta\lambda = \frac{6{,}62 \times 10^{-27}\,\text{erg}\cdot\text{s}}{9{,}1 \times 10^{-28}\,\text{g}\cdot 3 \times 10^{10}\,\frac{\text{cm}}{\text{s}}} \underbrace{\left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2}\right)}_{0{,}293} \simeq 0{,}71 \times 10^{-10}\,\text{cm}$$

7. Verificarea

a) dimensională

$$[\Delta\lambda] = \frac{[h[}{[m_0c]}\,[1 - \cos],$$

sau :

$$L = \frac{[\text{Energie}] \cdot \left[\frac{1}{\nu}\right]}{MLT^{-1}} \quad [0] = \frac{ML^2T^{-2} \cdot T}{MLT^{-1}} = L$$

b) unităţi de măsură.

$$\frac{\text{erg} \cdot s}{g \cdot \frac{cm}{s}} = \frac{\text{dynă} \cdot cm \cdot s^2}{g \cdot cm} = \frac{g \cdot \frac{cm}{s^2} \cdot s^2}{g} = cm$$

c) verificare numerică. (Abia acum se verifică numeric valoarea obţinută).

Remarcăm că acest mod de tratare relativist restrînsă poate fi aplicat multor fenomene de interacţiune radiaţie-substanţă ; tratarea este absolut analogă pentru efectul fotoelectric, pentru fenomenele de formare de perechi şi de anihilare, etc.

D. *Concluzii*

Fizica are ca domeniu general, astăzi, studiul naturii nevii ; s-a revenit întrucîtva la vechiul „physis", ştiinţa naturii la vechii greci. Obiectele de studiu ale fizicii, corpurile şi cîmpurile de radiaţii, prezintă o infinitate de proprietăţi, din care abstragem numai cîteva, pentru, a reprezenta, prin imagini sau modele mai mult sau mai puţin reuşite, complexitatea infinită a fenomenelor lumii. „Electronul este inepuizabil" a spus cîndva Lenin (v. Mat. şi Empiriocriticism.) şi cu atît mai mult, este inepuizabil studiul fenomenelor naturii.

Fizica îşi propune ca plecînd de la experienţă şi folosind mărimi simple, să prevadă dezvoltarea viitoare a fenomenelor, verificarea presupunerilor sau rezultatelor ei neputîndu-se face decît prin practică. De aceea, problemele de fizică privite mai riguros, devin extrem de complexe şi duc la formidabile complicaţii matematice. În practică se recurge de aceea cel mai adesea la calea aproximării.

Metoda de atac a problemelor propusă aici, doreşte să constituie un mijloc util de lucru, înlăturînd pe cît posibil teama faţă de exerciţiile şi probleme de fizică, teamă nejustificată în cazul exerciţiilor uzuale, dar cu atît mai justificată în cazul în care, renunţînd la metodele uzuale care redau schematic şi inexact fenomenele fizice, (constituind de multe ori tot atîtea prejudecăţi), se abordează problemele în toată complexitatea şi frumuseţea lor.

EXPERIENȚE CU REACTIVUL SCHWEITZER $[Cu(NH_3)_4](OH)_2$

Prof. *ADINA CÎRLANESCU*

(Comunicare prezentată la Consfătuirea de la Oradea din 1968).

Obținerea mătăsii artificiale prin metoda cupro-amoniacală.

Pentru prepararea mătăsii artificiale prin metoda cupro-amoniacală se procedează astfel : se ia într-un pahar Berzelius 2-3 g. celuloză care se dizolvă în circa 50 ml. reactiv Schweitzer.

Se amestecă bine pînă la formarea unei soluții coloidale pentru ca reactivul să pătrundă printre macromolecule și să le elibereze în soluție.

Soluția astfel obținută este introdusă într-o pîlnie cu robinet de tipul obișnuit, care însă să nu aibă un diametru al cărui orificiu de scurgere să depășească 1,5 mm.

Din pîlnie, soluția se lasă să curgă în jet subțire continu, urmînd o mișcare circulară, într-un cristalizor unde se află o soluție de CH_3COOH 10%.

În soluție de CH_3COOH, hidroxidul tetraamino-cupric și excesul de NH_4OH este transformat în $(CH_3COO)_2Cu$ și CH_3COONH_4 total solubili în mediu apos.

Celuloza, la îndepărtarea hidroxidului tetraamino-cupric, reprecipită sub forma unor filamente aglomerate într-o structură afînată.

Aceste filamente alcătuiesc mătasa artificială de tip cupro-amoniacal.

În industrie filarea are loc la presiune, iar firul e supus unor procese simultane de întindere și răsucire.

Prepararea acetilurii de cupru. C_2Cu_2

Instalația de preparare foarte simplă, este alcătuită dintr-un balon prevăzut cu o pîlnie cu robinet și un vas spălător legat de un cilindru.

Prin pîlnie se toarnă H_2O care în contact cu C_2Ca aflată în balonaș declanșează reacția de formare a acetilenei.

Aceasta este trecută prin vasul spălător în cilindru unde se află soluția reactivului Schweitzer.

Culoarea reactivului se schimbă din albastru în brun, iar pe pereții cilindrului se formează o oglindă de cupru.

Reacția care are loc poate fi astfel reprezentată.

$$\begin{matrix} CH \\ \| \\ CH \end{matrix} + 2[Cu(NH_3)_4](OH)_2 \longrightarrow \begin{matrix} C-Cu \\ \| \\ C-Cu \end{matrix} + 3NH_4OH + 5NH_3 + 1/2\ O_2$$

Acetilura de cupru poate fi pusă în evidență ulterior prin filtrare și uscarea filtrului. La slabă încălzire se descompune cu explozie.

Notă. Pentru prepararea reactivului Schweitzer se recomandă metoda Döring ca fiind cea ale cărei rezultate sînt cele mai bune.

54g $\cdot CuSO_4\,5H_2O$ chimic pur se dizolvă în 300 cm^3 H_2O

Dizolvarea se face la cald. Se precipită $Cu(OH)_2$, prin adăugarea în soluția răcită, sub agitare, 55 ml. NH_4OH 10% ($\rho = 0{,}993$). Se obține un precipitat albastru care se lasă să se depună și soluția de deasupra se îndepărtează prin decantare.

Precipitatul este spălat de cîteva ori cu porțiuni de circa 300 cm^3 H_2O distilată, decantînd soluția de fiecare dată.

Precipitatul astfel spălat este dizolvat în soluție 21% NH_4OH ($\rho = 0{,}973$).

Soluția rezultată este diluată la un volum total de un litru. cu NH_4OH la aceiaș concentrație.

Soluția este transparentă, de culoare albastră și trebuie păstrată în flacoane bine închise.

În condiții optime conservarea sa nu poate depăși 2—3 luni.

COMBINAȚIILE GAZELOR NOBILE

Lector *MARIA MANOLESCU*

Pînă în anul 1962 s-a crezut că o proprietate caracteristică a gazelor nobile este aceea de a nu forma combinații chimice. Profesorii din învățămîntul superior și din cel mediu arătau că : ...în familia gazelor nobile intră elementele cu cele mai stabile configurații electronice, avînd pe ultimul strat electronic opt electroni ; ele sînt inactive din punct de vedere chimic, nu se pot combina cu nici un alt element și nu manifestă nici o tendință de a găsi o nouă formă de echilibru.

Dogma invulnerabilității gazelor nobile a fost spulberată prin lucrările lui N. Bartlett (1), care în vara anului 1962 a reușit să prepare o primă combinație a xenonului.

N. Bartlett și Lohmann observînd că energia de ionizare a moleculei de oxigen este aproape aceeași cu a xenonului, au presupus că este posibilă reacția Xe și PtF_6 asemănător cu reacția cunoscută dintre PtF_6 și oxigen molecular cînd rezultă un compus de formulă brută $O_2^+PtF_6^-$

Energia de ionizare (Kcal/mol)

O_2	$\rightarrow O_2^+$	281,6
Xe	$\rightarrow Xe^+$	279,7
Ar	$\rightarrow Ar^+$	363,3
Kr	$\rightarrow Kr^+$	322,7
Rn	$\rightarrow Rn^+$	247,8

Această presupunere sa confirmat repede, Bartlett obținînd experimental un solid galben cu formula $Xe^+PtF_6^-$ care se hidrolizează rapid după reacția :

$$2XePtF_6 + 6H_2O = 2Xe + O_2 + 2PtO_2 + 12HF$$

Experiența a fost realizată într-un recipient prevăzut cu o diafragmă de sticlă în care s-au introdus într-o parte vapori roșii de hexafluorură de platină, iar în cealaltă parte xenon în același volum, dar la o presiune mai ridicată. Sfărîmînd diafragma de sticlă, cele două gaze s-au combinat imediat ; prin reacția xenonului cu hexafluorura de platină la temperatura cemerei, a rezultat o substanță solidă de culoare galbenă-portocalie, care este insolubilă în tetraclorura de carbon. Din analiza substanței sintetizate s-a dedus formula $XePtF_6$.

Hexafluoroplatinatul de xenon este prima combinație cunoscută a unui gaz nobil în care electronii lui de valență participă la formarea legăturilor chimice în moleculă.

Structura acestei combinații nu a fost nici pînă în prezent elucidată.

Îndemnați de această descoperire un grup de cercetători (2, 3) au preparat în același an XeF_4, făcînd să reacționeze direct Xe cu F într-un recipient de nichel (5 părți F la 1 parte Xe) încălzind sub presiune timp de o oră pînă la 400°C. După răcirea recipientului la —78°C (temperatura ghieței uscate) gazul care n-a reacționat a fost evacuat; acesta s-a dovedit a fi fluor pur. În recipientul de reacție s-au găsit cristale incolore de XeF_4.

Între timp R. Hoppe (4) și colaboratorii săi au obținut independent de Bartlett, la începutul lunii iulie 1962, XeF_2 pură prin expunerea la descărcări electrice a unui amestec de Xe și F (1 Xe : 2 F_2) sub presiune mică sau normală. Între electrozi a fost plasat un dispozitiv de răcire din cuarț, răcit cu ghiață uscată pînă la —78°C. Pe acest dispozitiv s-au depus imediat cristale de XeF_2, transparente care puteau sublima fără descompunere.

Făcînd să reacționeze F și Xe sub presiune mai mare și în exces de fluor, s-a obținut un produs, după metoda descrisă mai sus pentru XeF_4. Acest produs a fost XeF_6 care posedă o presiune de vapori mai mare decît XeF_4 și XeF_2.

Hexafluorura de xenon a fost obținută concomitent în trei laboratoare din S.U.A. și Jugoslavia (4, 5, 6). Astfel a început chimia gazelor nobile și numai în cîțiva ani au fost preparate numeroase combinații. În afară de fluoruri au fost obținute și combinații oxigenate ale gazelor nobile.

Fluorurile se obțin în general prin sinteză directă, (la încălzire, prin descărcări electrice și prin iradiere cu radiații ultraviolete), combinațiile oxigenate însă, prin hidroliza lentă a fluorurilor cu vapori de apă. Astfel prin hidroliza parțială a hexafluorurei s-a obținut oxitetrafluorura de xenon, $XeOF_4$ (8, 9) trecînd aerul sub presiune redusă, peste hexafluorură de xenon și răcind puternic la —78°C.

$$XeF_2 + H_2O \rightarrow XeOF_4 + 2HF$$

Trioxidul de xenon (XeO_3) a fost obținut prin hidroliza totală în mediu acid sau neutru a hexafluorurei de xenon. Este o substanță incoloră cristalină explozivă (6).

tabela 1

	XeF_2	XeF_4	XeF_6	$XeOF_4$	XeO_3	Na_4XeO_6
Greut. molec.	169,3	207,3	245,3	223,4	179,3	387,3
Pct. de topire	140	cca. 114	46	—28	explodează	se descompune la peste 160°C
Presiunea vaporilor (Torr) la 25°C.	3,8	3	28	32		
Culoarea în stare solidă	incolor	incolor	incol. 42°C galben 42°C	incol.	incol.	incol.
Culoarea în srare de vapori	incolor	incolor	galben	incolor	— — —	— — —
Căldura de evaporare (kcal/mol)	12,3	15,3	14,9	9,7	— — —	— — —

Prin hidroliza hexafluorurei de xenon în mediul alcalin se formează perxenați. Astfel din reacția XeF_6 cu NaOH, rezultă un perxenat de sodiu ($Na_4XeO_6 \cdot nH_2O$. Perxenații mai conțin și apă de cristalizare.

În tabela 1 sînt trecute principalele combinații ale xenonului împreună cu proprietățile lor fizice.

În afara combinațiilor trecute în tabela 1, s-a mai sintetizat recent și următoarele combinații ale xenonului ; XeF_8, $XeCl_2$, $XeCl_4$, $XeRhF_6$(15).

1. *Natura legăturilor chimice în compușii gazelor nobile*

La toate gazele nobile atomii conțin în stratul exterior doi electroni s și șase electroni p, în total 8 electroni. Această configurație (s^2p^6) pe ultimul strat electronic imprimă stabilitate chimică elementelor respective.

De exemplu schema neonului :

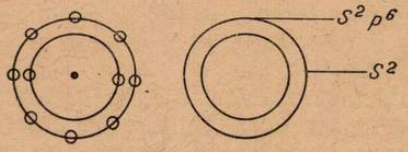


Fig. 1

sau dacă se notează convențional fiecare dintre orbitali printr-o căsuță iar electronii prin săgeți cu vîrful în sus cînd sînt „necuplați" (și prin două săgeți îndreptate în sens opus cînd doi electroni cuplați, schema orbitalilor s și p ai atomului de neon va fi :

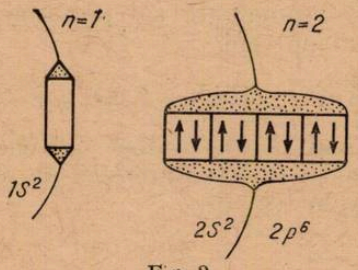


Fig. 2

Teoria electronilor de valență pare să excludă posibilitatea formării acestor compuși dar trebuie să ne dăm seama că straturile complete sînt numai „relativ stab le" — de altfel se cunosc de mult combinații între halogeni IF_5, IF_7, care au tot atîția electroni în jurul atomului central ca și combinațiile respective ale gazelor nobile.

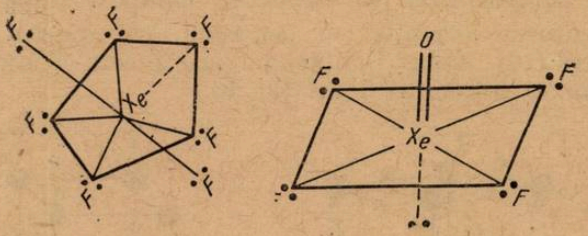
Se constată că în combinațiile gazelor nobile nu există un tip special de legătură chimică. Atomii sînt legați între ei în același fel ca și combinațiile cunoscute ale iodului.

Se pot emite ipoteze asupra felului legăturii pe mai multe căi : o cale poate fi explicată prin formare de *orbitali hibridizați*. De exemplu la formarea bifluorurii de xenon (XeF_2) legăturile moleculare se formează prin participarea a 10 electroni : 8 electroni provin de la atomul de xenon și 2 electroni de la cei 2 atomi de fluor. Cei 10 electroni formează 5 perechi de electroni care sînt orientați în jurul atomului de xenon ; deci, este necesar să mai fie implicat și un orbital d al xenonului.

Hibridizarea este sp^3d.

Ca urmare a aşezării atomilor, se întrevede pentru molecula de XeF_2 o structură liniară. Cei doi atomi ai fluorului se află sub şi deasupra unui triunghi echilateral care este format din perechi de electroni neparticipanţi.

O asemenea structură întîlnim la tetrafluorura de xenon (XeF_4 care se formează prin participarea a 12 electroni în legături chimice: octetul exterior al atomului de xenon dă 8 electroni şi fiecare atom de fluor cîte un electron. Aceşti 12 electroni formează 6 perechi de electroni, care sînt orientaţi octaedric în jurul atomului de xenon. Prin urmare, este necesar să mai fie implicaţi şi doi orbitali d ai Xe, proveniţi din trecerile: $p \rightarrow d$ şi $s \rightarrow d$. Hibridizarea este sp^3d^2. Două dintre aceste perechi de electroni ocupă vîrfurile opuse ale unui octaedru imaginar, ca perechi de electroni neparticipanţi, iar celelalte 4 perechi care se găsesc în acelaşi plan, formează legătura cu cei 4 atomi de fluor. În felul acesta, toţi cei 5 atomi componenţi ai moleculei se găsesc în acelaşi plan: deci pentru combinaţia XeF_4 rezultă o aşezare plană pătrată (10). O analiză a structurii cristalului de XeF_4 prin difracţia neutronilor (11) a confirmat structura plană a moleculei de XeF_4.



Pentru structura XeF_2 unde se găsesc 14 electroni de legătură proveniţi de la cei 6 atomi de fluor şi 8 electroni de la Xe, corespunde o hibridizare sp^3d^3 care este puţin stabilă. Teoria prevede un octaedru deformat.

În oxitetrafluorură, ($XeOF_4$), una din perechile de electroni este înlocuită cu un atom de oxigen (12).

Măsurătorile de rezonanţă magnetică nucleară, au arătat că, cei patru atomi de fluor din moleculă sînt echivalenţi (13, 14).

Asupra structurii moleculelor se pot trage concluzii şi din spectrul de oscilaţii. Legăturile între atomii unei molecule pot fi comparate cu resorturi spirale şi atomii oscilează în jurul unei „poziţii de echilibru". Într-o moleculă complicată există diferite modalităţi de oscilare a atomilor în jurul poziţiei lor de echilibru, şi fiecare oscilare are o altă frecvenţă. Dacă substanţa respectivă este iradiată de lumină, a cărei frecvenţă corespunde cu una din frecvenţele de oscilaţii din moleculă, atunci o parte a luminii este absorbită, aşa că în acest fel se poate identifica spectroscopic frecvenţa oscilaţiilor moleculelor. Numărul de frecvenţe al oscilaţiilor depinde de numărul de atomi din moleculă şi de simetria moleculară. Unele se pot observa în spectrul infraroşu altele numai în spectrul Raman, altele în ambele. La spectroscopia Raman un fascicol intensiv de lumină monocromatică şi vizibilă cade pe moleculă. În lumina difuzată apar frecvenţe, care se deosebesc prin anumite valori de frecvenţa luminii iradiate. Aceste valori corespund cu frecvenţa oscilaţiilor în moleculă.

Cu ajutorul acestei metode s-a putut constata, că molecula bifluorurei de Xe și în fază gazoasă este orînduită liniar și cea a tetrafluorurei este dispusă într-un pătrat planar. De asemenea s-a cercetat și structura moleculară a hexafluorurei de xenon dar încă nu s-au obținut rezultate complete.

2. *Structura cristalină*

Structurile fluorurilor de xenon s-au determinat prin difracția razelor X și a neutronilor ca și din analiza spectrului lor de oscilații. La difracția razelor X, o rază X trece printr-un cristal și după aceea este interceptată pe o placă fotografică. Lîngă pata de înegrire, care provine de la raza directă, placa mai are și „reflexe" — suplimentare, care nu sînt situate în direcția de incidență a razei. Structura cristalului se poate constata din orînduirea acestor reflexe suplimentare și a intensității lor, deoarece „grafica difracției" pe hîrtia fotografică este caracteristică dispoziției atomilor în rețeaua cristalină. Difracția neutronilor se bazează pe același principiu, numai că razele X se înlocuiesc cu un fascicol de neutroni. Din diversele măsurători efectuate, rezultă că în cristalul de XeF_2 moleculele sînt orînduite simetric liniar așa cum apare în fig. 5.

Cristalele *tetrafluorurei de xenon* se compun după cum a fost dovedit cu ajutorul difracției de neutroni (11) dintr-o dispoziție de molecule planare (10). Atomul de xenon este în centrul unui pătrat care este format din 4 atomi de fluor (fig. 6).

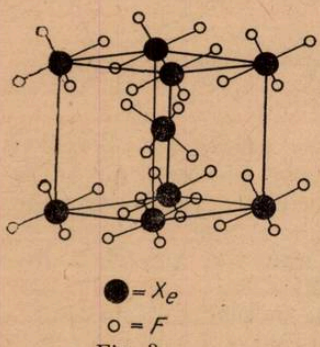


Fig. 3

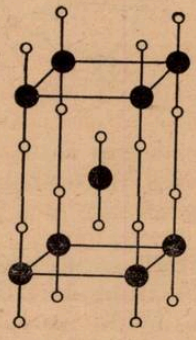


Fig. 4

Hexafluoura de xenon este la temperatura mediului înconjurător foarte reactivă, de aceea n-a putut fi determinată structura ei; la experimente cu raze X și neutroni, s-a descompus.

Obținerea combinațiilor gazelor nobile este o mare izbîndă a cercetării științifice contemporane. Compușii obținuți pînă în prezent sînt în cantități foarte mici chiar dacă s-au stabilit mai multe metode de preparare. Însușurile lor sînt în curs de cercetare și se întrevăd posibilități de folosire în practică.

Existența, dovedită în prezent, a combinațiilor gazelor nobile arată că în știință nu există dogme.

BIBLIOGRAFIE

[1] *N. Bartlette*, Proc. chem. Soc., 1962.
[2] *H. H. Classen, H. Selig* et *J. G. Malm*, J. amer. chem. Soc., 1962.
[3] *J. H. Holloway* et *R. D. Peacock*, Proc. chem. Soc., 1962.
[4] *R. Hoppe, W. Dähne, H. Mattauch*, et *K. M. Rödder*, Angew, chem., 1962, 74, 903.

[5] *J. G. Malm, I. Schaft* et C. *L. Chernik, J.* amer, chem. Soc., 1963, 85, 110.
[6] *E. E. Weaver, B. Weinstock* et *C. P. Knop, J* amer. chem. Soc., 1963, 85, 111.
[7] *J. Slivnik, B. Brcic, B. Volavsck, J. Marsel, V. Vrscaj, A. Smalc, B. Frelec* et *Z. Zemljic* Croatica chem., 1962, 34, 253.
[8] *D. F. Smith,* Science, 1963, 140, 899.
[9] *C. L. Chernik, H. H. Classen, P. R. Fields, H. H. Hyman, J. G. Malru, W. M. Manning, M. S. Matheson, L. A. Quaterman, F. Schreiner, H. H. Selig, E. N. Sloth, L. Stein, M. H. Studier, L. J. Weeks, M. H. Zirin,* Science, 1962, 84, 4612.
[10] *F. Feigel,* Spat tests in inorganic Analysis, Elsevier, Amsterdam 1958; Spot tests in Organic Analysis, Elsevier, Amsterdam 1960.
[11] *Firma Desga, Gml. H.,* 69 Heidelberg (R. F. allemande) — Sous le nom de Auftragschablone chez la firme Desge, livré en France, par Roucaire (Paris).
[12] *B. H. Devies,* J. chromat, 1963, 10, 518.
[13] *Dunnschicht* — chromatographie nach E. Stahl, Firma E. Merck A. G., Darmstadt — Aufärbereagentien fùr Dùnnscicht — und Papier chromatographie, Firma E. Merck A G., Darmstadt, 1961
[14] *E. Piccolo, Sesto S. Giovanni, Milano* (Italia).
[15] *Cedric L. Chernick,* Chemie in unserer Zeit, 2, 33, 1967.

INTERPRETAREA STRUCTURII MACROSCOPICE A CIMPURILOR ŞI INTERACŢIUNEA LOR

ing. *T. DANILA*

Scopul acestei lucrări este descrierea sugestivă a proceselor ce au loc în diversele cîmpuri materiale, (medii continui, cîmpuri electromagnetice şi gravifice), sau chiar elucidarea structurii macroscopice a acestora şi explicarea forţelor de interacţiune, probleme care au pasionat lumea ştiinţifică din toate timpurile şi care au rămas încă învăluite de multe taine. În acest fel am căutat şi am reuşit cred într-o măsură de multe taine. În acest fel am căutat şi am reuşit cred într-o mare măsură a face accesibilă înţelegerii minţii omeneşti natura cîmpului electro-magnetic, asupra căruia am concentrat mai ales atenţia şi mijloacele de investigaţie matematico-fizice de care dispunem azi. Desigur că obictivul propus de noi a fi rezolvat, care constituie una din problemele centrale şi deosebit de atrăgătoare ale fizicii clasice şi moderne nu este nou şi el datează încă dela începuturile electricităţii, dela Faraday părintele acesteia şi a fost reluat sub diverse forme dealungul anilor de către Maxwell, Hankel, Reynard, etc. în cele din urmă renunţîndu-se a se căuta o explicare sau o reprezentare a naturii concrete a cîmpului electromagnetic, acesta considerîndu-se ca o realitate aparte.î Totuşi plecînd dela ideia unităţii materiei în univers şi dela faptul că n domeniul macroscopic cîmpurile materiale (fluidice, electro-m., gravifice), au cel puţin o însuşire comună, anume continuitatea în spaţiu-timp, (care desigur este o aproximaţie ce-şi are sensul numai în anumit domeniu maroscopic), am căutat să determin care este factorul comun întrele ele, sau care este forma unui cîmp mai general din care ele pot decurge. Găsirea răspunsului în acest sens înseamnă după părerea mea rezolvarea problemei.

În această ordine de idei am ţinut seamă de rezultatele înregistrate pînă acum şi care pentru domeniul macroscopic sunt sintetizate mai

ales prin teoria relativității a lui A. Einstein, teorie care a proiectat o lumină puternică asupra naturii cîmpurilor, în special asupra celui gravific.

Cercetarea problemei unei teorii unitare a cîmpurilor pe calea geometrizării lor, a continuat pînă în zilele noastre, a se vedea Weyl (1918) Kaluza-Klein (1921), Einstein-Meyer, Webler, Einstein (1945), etc., însă fără rezultate concludente. Dintre diversele tratate moderne asupra teoriei cîmpurilor menționăm lucrarea lui L. D. Landau și E. M. Lifșiț (Teoria clmpului), în care se adoptă ca fundamental principiul acțiunii minime în domeniu relativist, cu ajutorul căruia se poate rezolva în mod integral problema interacțiunii cîmpurilor.

Deasemeni importante elemente care ne pot apropia de rezolvarea problemei, pot fi găsite și în cartea lui V. A. Fock intitulată „Teoria spațiului, timpului și gravitației'.

Aceste vaste materiale deja publicate, dau posibilitatea a se trage concluziile logice necesare, fără necesitatea unor noi experimentări sau studii de laborator.

Studiul fiind pentru domeniul macroscopic de reprezentare a fenomenelor, nu va lua în considerație cuantificarea cîmpurilor, care în ultimii ani a făcut noi și importante preogrese (a se vedea „Electrodinamica cuantică" de A. I. Ahiezer și V. B. Beresteţki); acest lucru îl rezerv pentru o lucrare viitoare, într-un domeniu mai larg de reprezentare microscopic-macroscopic, ce ar putea fi adoptat pentru cîmpurile electromagnetice, după cum pentru cele gravifice ar putea fi adoptat un domeniu macroscopic-megascopic.

În această lucrare am plecat după cum am menționat, dela ideia unității materi în univers și dela faptul că toate cîmpurile fizice fiind diverse forme de manifestare a materiei, trebuie să aibă o bază fizico-matematică comună, scopul acestei lucrări fiind tocmai stabilirea acestei baze. Deasemeni diversele manifestări ale materiei sub formă de cîmpuri fiind forme obiective ale realității, am căutat a da fenomenelor reprezentări independente de sistemele de referință sau de poziția observatorului în univers (care în relativitate aceasta se caracterizează prin linia de univers a observatorului), lucru ce poate fi obținut cu ajutorul calculului tensorial în spațiul Minkowski. (Menționăm că unii autori preferă reprezentarea fenomenelor în continuum spațiu — timp, în care ultima coordonată este imaginară, tocmai pentru a nu se pierde sensul acestei ultime coordonate, tangentă liniei de univers a observatorului, dar în acest fel se pierde din generalitate și din caracterul intrinsec al fenomenelor).

Ca o caracteristică generală a cîmpurilor în domeniul macroscopic de prezentare a fenomenelor, fie că este vorba de cîmpuri fluidice sau corpuri deformabile elastico-plastice, fie că este vorba de cele electromagnetice sau gravifice, se remarcă în primul rînd continuitatea, toate mărimile caracteristice fizice ale acestora putînd fi considerate ca funcții continui și derivabile de anumiți parametri, deci suceptibile a fi studiate cu ajutorul analizei matematice și după cum vom vedea ulterior cu ajutorul calculului tensorial, care de fapt este o extindere la mai multe dimensi a analizei.

În general în domeniul macroscopic mărimile fizice care caracterizează diversele cîmpuri își au sediul în spațiu (x y z) și timp (t), care fiind o varietate continuă din punct de vedere macroscopic, constituie un spațiu aritmetic cu patru dimensiuni (x, y, z, t). Științele fizico-

matematice clasice au considerat pînă la relativitate separat variabilele x, y, z ca constituind un spațiu metric și separat timpul t ca neavînd vreo legătură sau relație metrică cu spațiul și deci fiind o nouă variabilă independentă separată, în spațiul metric fiind dată o normă de conservare a lungimii, care infinitezimal este $ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$.

Relativitatea a stabilit însă că spațiul și timpul constituie o unitate, un spațiu metric quadridimensional denumit topocron, aceste variabile fiind legate prin invariantul scalar $ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2dt^2$, care decurge din legea de propagare sferică a luminii (independent de sistemul de referință), lucru pus în evidență de experiențele lui Michelson-Morley, dar care ar fi putut fi observat și din ecuația de propagare a undelor electro-magnetice $\Box\varphi = 0$ sau din ecuația eiconalului.

În coordonatele simetrizate ale lui Minkowski, invariantul linear în continuum spațiu—timp care acum devine universul cu patru dimensii al lui Minkowski în forma $ds^2 = \sum_1^4 dx_i^2$ sau mai general:

$$ds^2 = g_{ij}\, dx^i\, dx^j$$

unde am înlocuit x, y, z, t cu x^1, x^2, x^3, x^4, formă patratică pozitiv definită ce se potrivește unui sistem de coordonate curbiliniu scufundat într-un spațiu euclidian, dar potrivește tot atît de bine și unui spațiu ce nu mai este euclidian. Aceste relații ne duc deci către un spațiu riemannian, care în primă aproximație, poate fi considerat pentru anumite fenomene de cîmp ca fiind euclidian (dacă ținem seamă de condițiile de realitate, pseudo-euclidian), pentru altele cum ar fi cel gravific, tiparul euclidian fiind dela început insuficient. O analiză mai exactă a fenomenelor va arăta însă că nici cîmpurile materiale obișnuite (continuum deformabil), sau cele electro-magnetice nu sînt pur euclidiene. Deasemeni adoptarea spațiului riemanian devine insuficient, pentru un grad mai mare de precizie trebuind a fi luați în considerație pe lîngă tensorul de curbură și coeficienții de torsiune. Ieșirea însă din cadrul spațiului riemannian deschide perspective noi și nelimitate de studiu, domeniu de o vastitate considerabilă, legat fiind de structura unor noi spații poate insuficient cunoscute în prezent. În studiu de față ne vom limita la spațiile cu metrică riemanniană.

Întrucît în stabilirea ecuațiilor generale ale cîmpurilor, care vor reflecta proprietățile generale ale acestora, condițiile de realitate nu joacă un rol esențial (acestea avînd importanță numai pentru calculele practice, numerice), în cee ce urmează vom face abstracție de condițiile de realitate, simplificînd astfel mult lucrurile. În acest fel problema despicării topocronului în spațiu și timp nu mai constituie o chestiune importantă și necesară, de altfel acestea nedistingîndu-se prin condiții obiective, decît în cazul cînd nu facem abstracție pe linia de univers a observatorului. (În acest ultim caz despicarea e posibilă, timpul fiind timpul propriu, adică tangenta la linia de univers).

Întrucît spațiul este numai un atribut al materiei și nu poate existe independent (de sine stătător), este deci normal a considera nu cîmpul ca avîndu-și sediul în topocron, ci a considera orice cîmp material (inclusiv cel elctromagnetic și gravific), ca fiind un continuum material quadridimensional, diversle sale însușiri spațiale sau geometrice fiind unele din atributele acestuia. (Astfel privite, cîmpurile nu se deosebesc esențial unele de altele, ci numai prin varietatea atributelor lor).

Atunci vom putea denumi acest continuum quadridimensional, cînd von examina numai proprietăţile sale geometrice sau metrice, inclusiv deformaţiile sale interioare (care în ultimă analiză sînt tot proprietăţi metrice), ca fiind un spaţiu fizic, pentru a-l distinge de spaţiul geometric pur, care constituie o abstractizare mai avansată a minţii omeneşti. Un spaţiu fizic astfel definit, va putea fi nu limitat la patru dimensiuni, ci generalizat la n-dimensii, mai ales că atunci cînd studiem aceste proprietăţi geometrico-metrice, numărul de dimensiuni nu mai este esenţial.

Acest fapt duce la o nouă simplificare şi la posibilitatea de a se trece la patru dimensiuni, bazîndu-ne pe materialul faptic din domeniul bine cunoscut cu trei dimensiuni.

În cadrul acestor idei generale am început prin a defini cel mai simplu spaţiu fizic cu patru sau cu n-dimensii, pe care l-am denumit euclidian.

Definiţie : Se numeşte spaţiu fizic euclidian un corp material cu n-dimensiuni, care este euclidian absolut d.p.d.v. matematic, este omogen şi izotrop.

Un spaţiu material care nu este euclidian va fi denumit neeuclidian fizic.

Vedem deci că d.p.d.v. fizic, ca un corp să fie euclidian, nu este suficient să aibă forma euclidiană geometrică, (deci să poată fi scufundat într-un spaţiu geometric euclidian), ci este necesar ca şi interior el să fie lipsit de orice fel de deformaţii lineare sau unghiulare, pentru a i se asigura astfel o omogeneitate şi izotropie fizică. Neîndeplinirea oricăreia din aceste condiţiuni, duce la neeuclidinitatea fizică. În această privinţă vom putea face următoarea clasificare a corpurilor materiale sau a spaţiilor fizice neeuclidiene :

1. Cu deformaţii exterioare, cînd spaţiul fizic nu este euclidian absolut d.p.d.v. matematic, dar este omogen şi izotrop. (Ex. o suprafaţă sferică formată dintr-un material omogen, etc.).

2. Cu deformaţii interioare, cînd spaţiul fizic este euclidian absolut d.p.d.v. matematic, dar nu este omogen şi izotrop. (Ex. un corp material deformabil, în spaţiul euclidian înconjurător).

3. Cu deformaţii interioare şi exterioare.

În general un corp material supus unor eforturi exterioare capătă atît deformaţii interioare cît şi exterioare. Această clasificare este necesară însă mai mult din punct de vedere metodologic, separarea lor fiind posibilă şi din punct de vedere matematic, după cum vom vedea ulterior.

Un spaţiu material neeuclidian, poate fi considerat ca provenind dintr-unul euclidian d.p.d.v. fizic, obţinut printr-o deformare continuă, în aşa fel încît devine un spaţiu deformat sau neeuclidian, numărul de dimensii al spaţiului conservîndu-se cînd jacobianul transormării rămîne diferit de zero. Atunci spaţiul fizic prin deformare va deveni în primă aproximaţie riemannian cu patru dimensiuni şi el putînd fi scufundat într-un spaţiu euclidian d.p.d.v. mtaematic (cu m-dimensii), poate fi studiat cu ajutorul unei raze vectoare din spaţiul cu m-dimensii, unde

$$10 \geqslant m > 0.$$

Se mai poate întreprinde ca înainte de deformaţie să dotăm corpul cu un sistem de referinţă Lagrange, solidar legat de corp şi antrenat de acesta odată cu deformaţia sa şi pe care-l putem compara apoi cu

un sistem Euler rigid (fix), euclidian, neantrenat de deformaţia corpului material. Sistemul de referinţă Euler folosit va trebui să posede m-dimensii, deoarece corpul prin deformaţie părăseşte spaţiul cu 4 dimensii, devenind d.p.d.v. geometric o hiper-suprafaţă a unui spaţiu cu m-dimensii.

Întrucît atît sistemul Lagrange antrenat cît şi cel Euler rigid pot fi arbitrare, rezultă că în ultimă analiză vom compara în fiecare punct deformaţiile corpului material neeuclidian cu un corp etalon euclidian, sau chiar şi cu un metru etalon, considerat nedeformabil. Numai aşa vom putea pune în evidenţă neuniformităţile corpului studiat. Corpul material nedeformat luat ca etalon va avea o metrică euclidiană, care cel mai simplu poate fi exprimată prin tensorul metric unitar $\bar{\bar{g}}_0 = \begin{Vmatrix} 10 \\ 01 \end{Vmatrix}$. Corpul deformat va avea o metrică în general neeuclidiană, caracterizată prin tensorul metric genral : $\bar{\bar{g}} = \{g^{ji}\}$, care este un tensor simetric şi pozitiv definit. Cu ajutorul acestui element deosebit de important, se poate construi studiul întregii geometrii a corpului material (fizic) cu n-dimensiuni, pe care am numit-o geometrie-fizică, o ramură a unei noi discipline ce ar putea fi denumită matematica-fizică (avînd semnificaţia unei matematici îmbogăţită cu noi concepte şi noţiuni de natură fizică). Geometria fizică a mediului material continu va pune în evidenţă mai întîi proprietăţile geometrice exterioare ce se vor confunda cu acele geometrice pure şi apoi proprietăţile geometrice interioare, ce se vor confunda cu deformaţiile unui corp material, ce rămîne euclidian d.p.d.v. matematic.

Cu ajutorul razei vectoare $\bar{r}(x^i)$, avînd originea într-un punct fix o şi posedînd m componente, dar fiind funcţie numai de n parametri variabili x^i, $i = 1 \div r$, vom putea defini reperul sau baza locală, care va fi :

$$\bar{e}_i = \frac{\partial \bar{r}}{\partial x} = \partial_i \bar{r} \qquad i = 1 \div n \qquad \frac{n(n+1)}{2} \geqslant m > n,$$

din care rezultă componentele tensorului metric :

$$g_{ik} = \bar{e}_i \cdot \bar{e}_k = \partial_i r \cdot \partial_k \bar{r} \; ; \quad g = |g_{ik}| \; ; \quad g^{ik} = \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial g}{\partial g_{ik}}$$

Deasemeni se pot deduce în continuare simboalele lui Christoffel de speţa a doua :

$$\Gamma^i_{jk} = \bar{e}^i \cdot \partial_j \bar{e}_k$$

precum şi cele de speţa întîi ;

$$\Gamma_{i,jk} = \bar{e}_i \cdot \partial_j \bar{e}_k$$

respectiv avînd expresia :

$$\Gamma_{i,jk} = \frac{1}{2} (\partial_k g_{ij} + \partial_j g_{ik} - \partial_i g_{jk})$$

Cu ajutorul acestor simboale se definesc diferenţialele absolute a unui tensor, precum şi derivatele covariante a acestuia.

Apoi se poate exprima tensorul de curbură Riemann-Cristoffel :

$$R_{\lambda\nu\mu}{}^{j} = \partial_\nu \Gamma^j_{.\lambda\mu} - \partial_\lambda \Gamma^j_{.\nu\mu} - \Gamma^\rho_{.\rho\lambda} \Gamma^j_{.\rho\nu} - \Gamma^\rho_{.\nu\mu} \cdot \Gamma^j_{.\rho\lambda}$$

Cu ajutorul căruia se poate caracteriza un spațiu curb (riemannian), sau un spațiu ce admite o metrică euclidiană :

$$R_{\lambda\nu\mu}^{\ \ \ i} \equiv 0$$

(În lucrare am făcut remarca că un spațiu ce admite o metrică euclidiană nu este neapărat un euclidian absolut ce admite un sistem cartezian de referință, exemple putînd fi date ușor în bidimensional : ex. conul, cilindrul, suprafețele desfășurabile. De aceia spațiul cu tensorul de curbură nul l-am numit euclidian, el putînd fi euclidian relativ cînd nu admite un sistem cartezian, sau absolut, cînd admite un astfel de sistem de referință. Dar în general pentru studiul nostru va fi suficient să știm dacă un corp este euclidian sau nu d.p.d.v. geometric).

Proprietățile geometrice interioare sînt caracterizate prin tensorul deformațiilor specifice, care poatea avea o exprimare în funcție de vectorul de deplasare $\overline{u}$:

$$D_{ij} = \frac{1}{2}(\nabla_i u_j + \nabla_j u_i) = \frac{1}{2}(\partial_i u_j + \partial_j u_i - 2\Gamma_{ij}^{\alpha} u_\alpha)$$

sau funcție de tensorul metric, cu ajutorul căruia exprimăm tensorul deformațiilor finite :

$$\theta_{ik} = g_{\alpha k}\frac{\partial w^\alpha}{\partial y^i} + g_{i\beta}\cdot\frac{\partial w^\beta}{\partial y^k} + g_{\alpha\beta}\cdot\frac{\partial w^\alpha}{\partial y^i}\frac{\partial w^\beta}{\partial y^k}$$

unde $\overline{w}$ este vectorul care pune în evidență deformația în variabilele Langrange.

Același tensor al deformațiilor finite, în sistemul de variabile Euler va avea expresia :

$$D_{ij} = \frac{1}{2}(\nabla_i u_j + \nabla_j u_i + \nabla_i u_\beta \cdot \nabla_j u^\beta)$$

Între deformații și tensiuni, pentru un corp material cu trei dimensiuni în ipoteza liniarității acestora, avem relația :

$$\tau^{ik} = (\lambda g^{ik} g^{\alpha\beta} + 2\mu g^{i\alpha} g^{k\beta}) \cdot D_{\alpha\beta} = \Pi^{ik\alpha\beta} \cdot D_{\alpha\beta}$$

care expresie fiind independentă de numărul de dimensiuni ale spațiului, poate fi generalizată fără modificări și pentru un corp cu n-dimensii, dacă ar exista un asemenea corp. În orice caz ea este aplicabilă unui corp material cu patru dimensiuni, care constituie o realitate fizică pentru cîmpurile macroscopice, care atunci cînd sînt neastaționare pot fi interpretate drept continuumuri materiale cu patru dimensii, cărora le-am dat denumirea de tetracorp. Pentru consolidarea acestei idei, va trebui pusă în evidență existența acestei tensiuni τ în patru dimensiuni și chiar în $\overline{\overline{\tau}}$ n-dimensii.

Pentru aceasta este suficient admite și a folosi principiile de echilibru static referitoare la forțe și la momente.

Existența acestor tensiuni în n-dimensii se poate arăta exact ca în trei dimensii și anume se demonstrează că în jurul unui punct ele reprezintă un tensor de ordinul doi, dacă considerăm eforturile de hipersuprafață, adică forțele specifice de volum $n - 1$ dimensii. Ecuațiile de echilibru pentru momente, arată că aceste tensor e simetric, adică $\tau^{ij} = \tau^{ji}$

(În lucrare am făcut aceste deducţii numai pentru strict patru dimensii, dar demonstraţiile şi relaţiile respective pot fi extinse cu uşurinţă la n-dimensii).

Între forţele specifice $\overline{F}$ de volum n-dimensional, care în general trebuie să aibă n componente şi eforturile specifice de hipersuprafaţă n — 1 dimensională, care trebuie să aibă n^2 componente, din care esenţial distincte sînt numai $n\frac{(n+1)}{2}$ componente, din cauza simetriei tensorului, rezultă imediat (şi pe aceleaşi căi de demonstrare) relaţia : $\Delta\overline{\overline{\tau}} = \overline{F}$ care are un caracter universal în domeniul cîmpurilor, ea apărînd ca o ecuaţie fundamentală în toate acestea.

(Prin $\nabla\overline{\overline{\tau}}$ am notat divergenţa tensorului $\overline{\overline{\tau}}$, adică div. $\overline{\overline{\tau}} = \nabla\overline{\overline{\tau}}$).

Această ecuaţie, care leagă tensiunile de forţele volumice, poate exista şi în absenţa acestora din urmă (deci în absenţa unui cîmp de forţe specifice), ea luînd atunci următoarea formă :

$$\nabla\overline{\overline{\tau}} = 0$$

Pentru un anumit domeniu limitat D, distribuţia lui $\overline{\overline{\tau}}$ depinde de condiţiile pe contur.

Această ecuaţie $\Delta\overline{\overline{\tau}} = 0$ o regăsim deasemeni în cadrul tuturor cîmpurilor, interpretarea dată lui $\overline{\overline{\tau}}$ fiind diversă la diverşi autori şi anume tensorul $\overline{\overline{\tau}}$ e considerat uneori ca o energie specifică, alteori poartă denumirea de tensor al tensiunilor cinetice, el în realitate fiind generalizarea tensorului tensiunilor, dela trei la patru sau chiar n- dimensii.

În mecanica relativistă a cîmpurilor el este întîlnit în mod constant sub denumirea de tensor al energiei (specifice adăugăm noi), dar această denumire nu-şi mai are sensul într-o reprezentare Minkowski, în care aspectul dinamic, sau nestaţionar al fenomenelor dispare, dealungul dimensiunii timp apărînd neuniformităţi de aceiaşi natură cu acele existente dealungul celorlalte dimensiuni spaţiale. Aci apare avantajul limbajului quadridimensional pur, care dacă pe deoparte şterge aspecutul dinamic sau nestaţionar al fenomenelor, în schimb crează imagini accesibile înţelegerii noastre, prin generalizarea unui corp material static tridimensional, la patru şi chiar n-dimensii.

În această situaţie, dacă considerăm că un corp material este un fenomen staţionar a cărei existenţă o putem înţelege şi cunoaşte în mod nemijlocit prin sesizare directă, putem cunoaşte prin simpla generalizare a numărului de dimensiuni şi un corp material cu patru dimensii (tetracorp), care constituie baza tuturor cîmpurilor în domeniu macroscopic. Această cunoaştere a cîmpurilor nu poate reprezenta o simplă geometrizare a lor, deoarece alături de fenomenele geometrice, exprimate prin deformaţiile interioare şi exterioare, apare şi fenomenul eforturi (de hiper volum şi de hiper-suprafaţă), care nu pot fi reduse la elemente geometrice, dar care pot fi legate de acestea cu ajutorul unor constante fizice, care sînt un rezultat al structurii quantice a materiei.

Pentru mediul continu deformabil staţionar avem aceiaşi ecuaţie, care leagă tensiunile de suprafaţă, de forţele volumice :

$$\nabla\overline{\overline{\tau}}' = \overline{F}$$

În cazul unui mediu material în mişcare avem:

$$\nabla(\rho\bar{v}\bar{v} + \bar{\bar{\tau}}') = \bar{F}$$

unde între paranteze avem tensorul tensiunilor cinteice, cu zece componente esenţial distincte. Aci trebuie să considerăm ca identitate $\rho\bar{v}\bar{v} + \bar{\bar{\tau}}' \equiv \bar{\bar{\tau}}$ unde $\bar{\bar{\tau}}$ este quadridimensional şi $\bar{\bar{\tau}}'$ tridimensional şi revenim la ecuaţia $\nabla\bar{\bar{\tau}} = F$, sau la ecuaţia $\Delta\bar{\bar{\tau}} = \bar{F}$, dacă reducem mişcarea ($\nu = 0$) $\bar{F}$ fiind în general tridimensional.

În cazul cîmpului electro-magnetic avem ecuaţia cunoscută $\Delta\bar{\bar{\tau}} = \bar{k}$ unde $\bar{k}$ este o forţă quadridimensională, iar $\bar{\bar{\tau}}$ are de asemeni semnificaţia unui tensor al tensiunilor, dedus din tensorul cîmp:

$$\overset{\Phi}{\overset{\Phi}{\int}} = \begin{Vmatrix} 0 & H_3 & -H_2 & iE_1 \\ -H_3 & 0 & H_1 & iE_2 \\ H_2 & -H_1 & 0 & iE_3 \\ -iE_1 & -iE_2 & -iE_3 & 0 \end{Vmatrix}$$

prin intermediul ecuaţiei algebrice:

$$\bar{\bar{\tau}} = -\frac{1}{4}\Phi_{\alpha\beta}^2 \cdot \delta_{\mu\nu} + \Phi_{\mu\alpha} \cdot \Phi_{\nu\alpha}$$

Deoarece $\bar{\bar{\Phi}}$ este un tensor antisimetric de ordinul doi în spaţiul cu 4 dimensii şi are numai şase componente distincte după cum se observă şi direct, rezultă că şi cîmp e—m, are numai şase componente esenţial distincte, deci este un caz mai restrîns al tetracorpului.

În cazul cîmpului gravific avem aceiaşi ecuaţie generală $\nabla\bar{\bar{\tau}} = \bar{k}$, (respectiv $\nabla\bar{\bar{\tau}} = 0$), cu aceleaşi semnificaţii, dar ecuaţia nu mai poate fi considerată în spaţiul enclioian ci întru-unul riemannian cu patru dimensii. Aceasta se datorează faptului că aceste cîmpuri nu mai pot fii studiate în zone foarte limitate ca întindere cum se procedează în celelalte cîmpuri şi în care curbura spaţiului poate fi neglijată, deoarece în mic (local) un spaţiu riemannian poate fi considerat euclidian. În schimb deformaţiile locale, (interioare), pot fi aci neglijate. Atunci integrarea ecuaţiei gravifice, care ia în considerare numai deformaţiile exterioare, ne va duce la relaţia cunoscută:

$$\tau^{ij} = \varkappa(R^{ij} - \frac{1}{2}g^{ij}R) = \varkappa p^{ij}$$

unde p^{ij} este tensorul lui Einstein şi R tensorul obţinut din tensorul de curbură Riemann-Christoffel printr-o simplă contractare ($R^{ij} = g^{i\nu} \cdot g^{i\mu} \cdot R_{\lambda\nu\mu}^{\lambda}$), iar R este invariantul linear al tensorului de curbură ($R = R^{ii}$).

În cazul considerării numai a deformaţiilor interioare am stabilit anterior că se poate aplica ecuaţia:

$$\tau^{ij} = (\lambda g^{ij} \cdot g^{\alpha\beta} + 2\mu g^{i\alpha} \cdot g^{i\beta}) \cdot D_{\alpha\beta} = \Pi^{ii\alpha\beta} \cdot D_{\alpha\beta}$$

În cazul cel mai general, cînd continuum material are ambele feluri de deformaţii ce trebuiesc avute în vedere, vom avea (în cadrul unei teorii lineare a cîmpului):

$$T^{ij} = \varkappa(R^{ij} - \frac{1}{2} g^{ij} R) + (\lambda g^{ij} g^{\alpha\beta} + 2\mu g^{i\alpha} g^{i\beta}) D_{\alpha\beta} = \varkappa P^{ij} + \Pi^{ij\alpha\beta} D_{\alpha\beta}$$

care trebuie să fie forma cea mai generală a ecuaţiei ce leagă eforturile de deformaţii, adică fizicul de geometrie. Această ecuaţie conţine trei constante fizice, $\varkappa$, λ, μ, care trebuie să depindă de structura fină a materiei, deci de cuantificarea ei.

Acest cîmp general denumit de noi tetracorp sau quadricorp, reprezintă forma cea mai generală de cîmp şi cuprinde în particular atît cîmpul fluidic sau a mediului material deformabil, cît şi cel electro-magnetic sau gravific, drept cazuri particulare. Prin intermediul lui se pot stabili anumite relaţii de echivalenţă sau de izomorfism între diversele cîmpuri concrete, lucru ce apare evident de exemplu între cîmpul fluidic şi diverse forme particulare ale celui electro-magnetic, care au frapat lumea ştiinţifică în trecut, fiind considerate totuşi ca simple analogii. Datorită faptului că tetracorpul cuprinde în particular cîmpurile fluidice care pot fi denumite şi euleriene, pe cele electro-magnetice sau maxwelliene precum şi pe cele gravifice sau einsteiniene, am mai denumiit această formă generală cîmp euleriano-maxwelliano-einsteinian, sau prescurtat cîmp E.M.E.

Aceste consideraţiuni pot fi mult extinse, pe deoparte prin adoptarea unui corp material tetradimensional, ca un spaţiu fizic mai general, cu tensorul metric nesimetric şi cu componente în spaţiu complex (deci ca un spaţiu neeuclidian Hilbertian), iar pe de altă parte, prin considerarea structurii fine sau a quantificării.

Şi într-un sens şi în altul se deschid perspective vaste de studiu.

Pentru aflarea forţelor de interacţiune, sau a forţelor ponderomotoare, cum mai sînt numite forţele ce se concentrază în anumite zone, nu avem decît de a aduna două sau mai multe cîmpuri prin suprapunerea lor, (care în primă aproximaţie sînt aditive din cauza liniarităţii lor) şi apoi a aplica teorema lui Gauss generală, pentru spaţiul cu n-dimensiuni (în cazurile concrete, cu 4 dimensii):

$$\int_{\Sigma} T \cdot ds = \int_{D} \nabla T \cdot d\Omega = \int_{D} \overline{F} d\Omega = \overline{F}$$

unde $\overline{F}$, dacă este într-o zonă restrînsă (infinit mică d.p.d.v. fizic), ne apare ca o forţă concentrată, sau mai exact dealungul unei linii din universul Minkowski.

Astfel se pot explica uşor forţele de interacţiune, de atracţie sau respingere, ca rezultat al integrării tensiunilor pe contur.

În această interpretare ne-am folosit în general de noţiuni cunoscute şi înţelese de spiritul nostru prin percepere directă, cît şi de posibilitatea de generalizare a fizicei şi geometriei la mai mult decît trei dimensiuni, prin posibilitatea de aritmetizare a lor.

BIBLIOGRAFIE

[1] *N. Ciorănescu*: Ecuaţiile mecanici analitice.
[2] *L. D. Landau* şi *F. M. Lifşiţ*: Mecanica.
[3] *E. Carafoli* şi *T. Oroveanu*: Mecanica fluidelor (vol. I şi II).
[4] *Caius Jacob*: Introducere matematică în mecanica fluidelor.

[5] *M. Drăganu*: Introducere matematică în fizica teoretică modernă (vol. I şi II).
[6] *N. E. Kocin*: Calculul vectorial şi introducere în calculul tensorial.
[7] *N. A. Kilcevski*: Elemente de calcul tensorial şi aplicaţiile lui în mecanică.
[8] *I. M. Ghelfand*: Lecţii de algebră lineară
[9] *M. M. Filonenco* — Borodici: Teoria elasticităţii.
[10] *I. E. Tamm*: Bazele teoriei electricităţii.
[11] *Valer Novacu*: Introducere în electrodinamică (vol. I şi II).
[12] *T. Dănilă*: Interpretarea structurii macroscopice a cîmpurilor şi interacţiunea lor (în extenso).
[13] *A. Einstein*: Teoria relativităţii.
[14] *L. D. Landau* şi *E. M. Lifşiţ*: Teoria cîmpului.
[15] *V. A. Fock*: Teoria spaţiului, timpului şi gravitaţiei.

STRUCTURA COMPUŞILOR HIDROGENAŢI AI BORULUI

M. DINCULESCU — Inst. Politehnic Bucureşti

Datorită multiplelor aplicaţii pe care le au, combinaţiile hidrogenate şi organice ale borului sînt mult cercetate în ultima vreme.

Studiul hidrurilor de bor a ajutat la completarea cunoştinţelor noastre privind legătura chimică, dezvoltînd concepţia despre legăturile tricentrice şi policentrice într-o lumină nouă. Acest lucru a fost posibil datorită numeroaselor cercetări făcute asupra structurii destul de complicate a boranilor.

În chimia boranilor au fost obţinuţi mulţi reprezentaţi cu molecule poliedrice. Legăturile policentrice stau la baza scheletului poliedric ce poate fi asimilat cu o carcasă formată din atomi de bor în interiorul căreia se află electroni delocalizaţi, care menţin stabilitatea edificiului molecular. În cazul legăturii policentrice, perechea de electroni se află în cîmpul mai multor nuclee; de aceea pentru o astfel de legătură revin mai puţin de doi electroni. Delocalizarea electronică existentă într-un sistem închis conferă caracter aromatic şi o mai mare stabilitate sistemului.

Un rol de seamă îi revine lui H. N. Lipscomb.
Datorită studiilor lui, pot fi determinate formulele şi structurile posibile ale hidrurilor de bor, conform unor principii generale. Trebuie amintit şi numele lui Alfred Stock, primul cercetător în chimia boranilor, deschizător de drumuri în studiul hidrurilor de bor.

Aceste studii de început sînt completate de către Burg şi Schlesinger, între anii 1930—1942, cu date referitoare la structura hidrurilor.

Lucrarea de faţă cuprinde materialul bibliografic apărut în ultimii zece ani.

Studiile făcute asupra compuşilor hidrogenaţi ai borului şi a derivaţilor lor au arătat că aceştia pot fi clasificaţi astfel:

1. Hidruri simple: diboran
   borani superiori: tetraboran, pentaboran, heptaboran, octaboran, nonaboran, decaboran, borani polimeri
2. Hidruri complexe: carborani
   ioni posibili al hidrurilor de bor boranaţi
3. Reactivi Grignard anorganici

În prezent, datorită diversității metodelor folosite, se pot determina cu destulă precizie structurile hidrurilor de bor. Printre cele mai bune metode putem enumera : metoda difracției de raze X, metoda difracției electronice, metoda spectrelor de rezonanță magnetică nucleară, metoda energiilor de legătură, teoria legăturilor tricentrice și a orbitalilor moleculari (I) (2)

Se știe că atomul de bor posedă trei electroni în stratul său de valență. Compușii borului trivalent au structură plană cu atomul de bor legat central. Este vorba de o hibridizare sp^2. Un orbital p al borului, orientat perpendicular pe planul moleculei, rămîne vacant ; din această cauză compușii trivalenți ai borului sînt deficitari în electroni. Ei sînt foarte nestabili tinzînd continuu să-și completeze octetul. Tot din cauza deficienței în electroni a borului trivalent, hidrura de bor simplă BH_3, nu există dar se cunosc mulți polimeri ai ei. Hidrurile de bor sînt deficiente în electroni în sensul că în ele există un număr mai mare de orbitali decît numărul total al electronilor. Din această cauză, problema structurii lor a fost una din problemele nerezolvate ale chimiei structurale într-o perioadă îndelungată.

În urma studiilor făcute asupra hidrurilor de bor, Lipscomb și Eberhard au formulat patru tipuri de legături posibile existente în constituția lor : B—H, B—B, B—H—B și B—B—B. Primele două sînt legături covalente normale iar celelalte — tricentrice (3).

Caracteristica structurală fundamentală a hidrurilor de bor este existența punților de tipul B—H—B și prezența legăturilor tricentrice alături de legăturile covalentenormale.

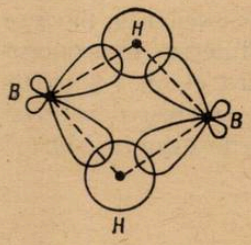


Fig. 1

Potrivit teoriei mecanicii cuantice, puntea de hidrogen B—H—B ia naștere prin contopirea a doi orbitali hibrizi sp^3 ai atomilor de bor cu orbitalul atomului de hidrogen. Orbitalul molecular care a luat naștere din trei orbitali atomici și care unește cei trei atomi este ocupat de o pereche de electroni cu spin opus. (fig. 1)

Legătura tricentrică este legătura perechii de electroni privită ca un orbital molecular localizat ce poate fi extins asupra a trei nuclee atomice și care nu schimbă semnul funcției sale de undă între nuclee.

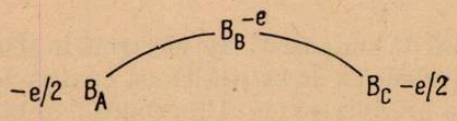
Știind că funcția de undă a orbitalului molecular este o combinație lineară a funcțiilor de undă ale orbitalilor atomici, vom avea :

$$\psi = a_1 \psi_A + a_2 \psi_B + a_3 \psi_c$$

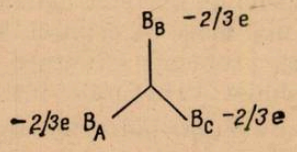
Pentru bor, care au o hibridizare sp^3 în această legătură, rezultă :

$$\psi = \frac{1}{2} \psi_A + \frac{1}{\sqrt{2}} \psi_B + \frac{1}{2} \psi_c$$

Funcția de probabilitate plasează perechea de electroni cu probabilitatea 1/4 pe atomii A și C și 1/2 pe atomul B în cazul legăturii tricentrice deschise. În cazul legăturii tricentrice B—H—B, distribuția perechii de electroni va fi identică cu cea de mai sus.



Dacă considerăm hibridizarea sp^2 pentru atomul de bor legătura tricentrică se va prezenta astfel :



În acest caz sarcina este egal distribuită pe cei trei atomi ai legăturii.

Conform teoriei tricentrice, trebuie luate în considerare numai acele structuri care satisfac simetria moleculei. Dar pentru a avea o distribuție de sarcină mai apropiată de realitate trebuie considerate toate structurile de rezonanță și echivalente ale hidrurilor de bor, nu numai cele simetrice. De asemenea, s-a constatat că pentru structuri cu simetrie scăzută, dacă se cuplează diferitele forme de rezonanță, se obține o simetrie moleculară completă. Astfel este cazul pentaboranului — 9. Pentru el nu s-a putut scrie o structură de simetrie C_{4v}, în schimb s-a scris perechea de hibrizi de rezonanță C_{2v} . În continuare, vom analiza structurile cîtorva hidruri mai importante.

Hidruri simple

Diboranul. În urma cercetărilor făcute s-a constatat că diboranul este format din două molecule de borină (BH_3) care nu pot exista libere ci se stabilizează unindu-se între ele. În molecula borinei, cei trei electroni de valență ai borului și cei trei electroni ai atomului de hidrogen formează trei legături B—H. În acest caz, nu mai avem electroni disponibili pentru legătura dintre cele două grupe (BH_3), în diboran. Prin metoda difracției electronice s-a stabilit că doi atomi de bor și doi atomi de hidrogen sînt așezați în colțurile unui patrulater regulat. Ceilalți patru atomi de hidrogen sînt situați într-un plan perpendicular pe planul patrulaterului central și la distanțe ceva mai mici decît atomii de hidrogen din ciclu. (fig. 2). Legătura între cei doi atomi de bor este realizată prin două punți de hidrogen B—H—B. Studiile făcute asupra spectrelor Raman și infraroșii au confirmat faptul că distanțele B—H sînt variabile și că doi dintre atomii

de hidrogen din diboran au funcție deosebită față de ceilalți patru. Acest lucru mai poate fi dovedit prin obținerea $B_2H_2(CH_3)_4$ Deși toți atomii sînt considerați neutri, există dovezi experimentale din studiul spectrului de rezonanță magnetică protonică, că cei doi hidrogeni din punte sînt mai negativi decît cei patru hidrogeni terminali, avînd o sarcină negativă de 0,2 e.

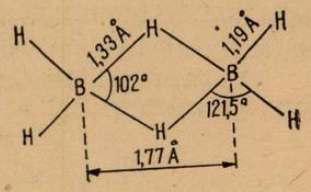


Fig. 2

Structurile celorlalte hidruri de bor au fost stabilite prin metoda razelor X. În moleculele lor, care sînt mult mai complicate, apare un nou tip de legătură — între atomii de bor (B—B). Fiecare atom de bor utilizează toți cei patru orbitali ai săi, căpătînd o înconjurare cuasitetraedrică.

Tetraboranul

Lipscomb și colaboratorii au dat pentru tetraboran următoarea structură posibilă : (fig. 3).

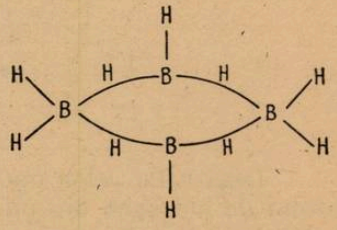


Fig. 3

După cum se vede în acest caz avem patru legături în punte și șase hidrogeni terminali. Pentru formarea acestor legături se folosesc zece perechi de electroni din cele unsprezece existente, rămînînd doi orbitali liberi ai borului. Măsurătorile făcute au arătat că distanțele interatomice rămîn aceleași ca în diboran.

Pentaboranul — 9 și pentaboranul — 11

După cum s-a mai arătat, în cazul pentaboranului 9 din imposibilitatea de a scrie o structură tricentrică de simetrie C_{4v}, se scrie perechea de hibrizi de rezonanță C_{2v} (3).

În structura pentaboranului 9 (fig. 4) atomul de bor din vîrf B_1, formează patru legături electronice, una cu hidrogenul, două cu doi atomi de bor și o legătură tricentrică deschisă spre ceilalți doi atomi de bor.

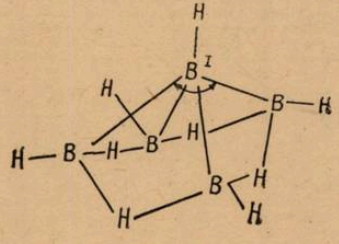


Fig. 4

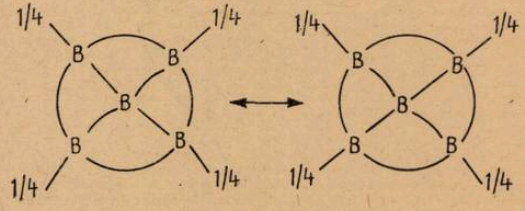


Fig. 5

Cele două structuri de rezonanță sînt următoarele : (fig. 5).

Dacă se divizează egal perechea de electroni ce aparține legăturii tricentrice și se folosește cea mai simplă aproximație L.C.A.O. pentru distribuția sarcinii în această legătură, se găsește că atomul de bor din vîrf are sarcina (—1) în aceste condiții ceilalți patru atomi de bor vor avea

sarcina +1/4. Studiile ulterioare au arătat că sarcina în exces de pe atomul din vîrf trebuie să fie redusă pentru ca momentul de dipol să aibă o valoare mai apropiată de cea reală. În acest sens, se consideră că atomii de hidrogen din punte au un mic exces de sarcină negativă, evaluată la -0,1e. Calculînd momentul de dipol, se găsește în aceste condiții, o valoare apropiată de valoarea experimentală.

În cazul pentaboranului 11, s-au prevăzut, de asemenea, două structuri echivalente (fig. 6).

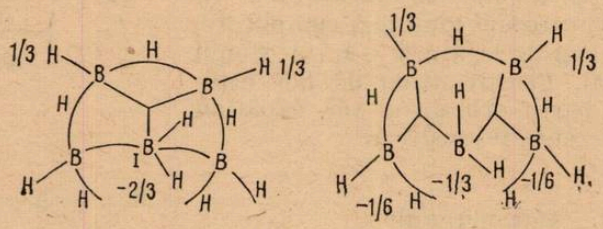


Fig. 6

Legăturile celor opt atomi de hidrogen terminali și ale celor trei atomi de hidrogen din punte lasă libere două perechi de electroni și șase orbitali ai borului. Pentru a utiliza anumiți electroni și orbitali rămași liberi, se vor forma două legături tricentrice. Studiul cu raze X a permis măsurarea distanțelor între atomii componenți ai moleculei.

Hexaboranul — 12

Studiul spectrelor R.M.N. ne arată că în molecula hexaboranului se află trei feluri de atomi de bor, reflectate de prezența a doi dubleți care provin din două tipuri de grupări BH și un triplet datorat grupării BH_2. Din studierea acestor date, s-a ajuns la concluzia că structura cea mai

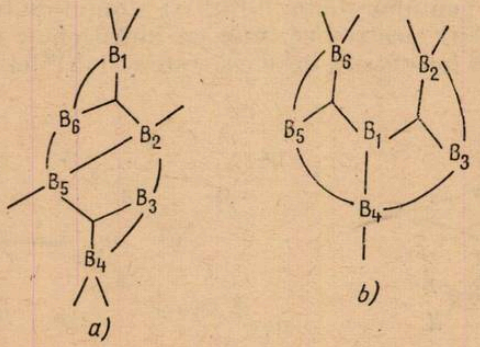


Fig. 7

probabilă a hexaboranului este 4212 B_6H_{12} (fig. 7a). Aceeași formulare ne poate conduce și la altă structură (fig. 7b) care însă pare a fi mai puțin stabilă datorită interferenței probabile a hidrogenilor de la atomii de bor B_2 și B_6.

Se presupune că prin combinarea a două unități de B_3H_7 se formează hexaboran — 14 care, prin pierdere de hidrogen, se rearanjează dînd hexaboran 12 cu structura din fig. 7 a (fig. 8).

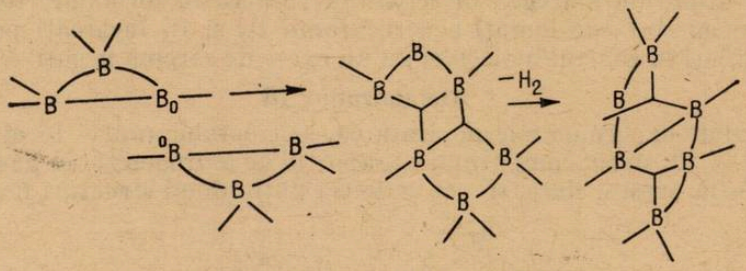


Fig. 8

Structura hexaboranului 12 nu se bazează pe fragmentul icosaedric compact ca unitate structurală, ci mai degrabă pe o formă aciclică (4).

Octaboranul — 12

Structura geometrică a octaboranului 12 este înrudită cu cea a nonaboranului — 15. Înlocuind gruparea BH_2 cu punte dublă de la nonaboran cu o punte de hidrogen, obținem structura octaboranului — 12 (3).

Simetria structurală a moleculei de octaboran poate fi C_{2v}, C_5 și C_2 (fig. 9).

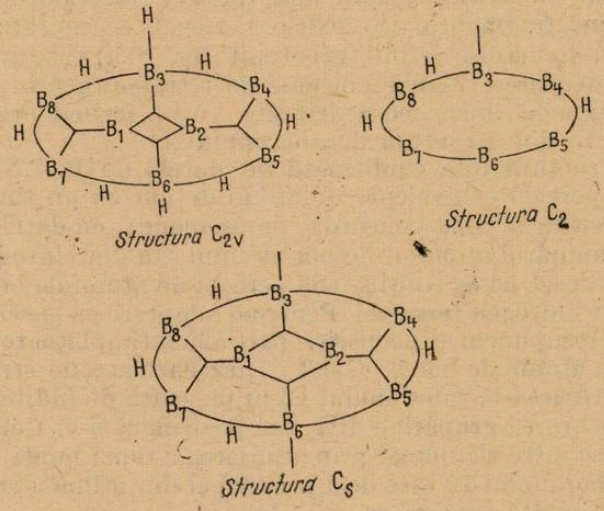


Fig. 9

Toate aceste trei structuri au la bază fragmentul icosaedric cel mai compact pentru aranjamentul borului.

Diferența între ele constă în deplasarea atomilor de hidrogen 9 și 10 cu 0,25 Å, cînd simetria structurală este coborîtă de la C_{2v} la C_5 sau C_2. Din cele trei structuri înrudite, structura C_5 este cea mai corectă. Ea a fost confirmată și de teoria lui Hückel. Cercetările au arătat că în molecula

acestui compus există patru feluri de legături : două tricentrice între $B_1-B_2-B_3$ și $B_1-B_2-B_7$ și două legături bicentrice între B_3-B_4 și B_5-B_6 comun celor 11 structuri de valență ce se pot scrie dacă admitem existența a patru atomi de hidrogen de legătură. În această formulare toți atomii de hidrogen sînt considerați neutri, atomii B_7 și B_8 încărcați pozitiv iar atomii aflați în centrul moleculei au un exces de sarcină negativă.

Octaboranul 18

Datele experimentale ne arată că, atît octaboranul— 16 cît și octaboranul — 20, sînt incompatibili cu raportul de hidrogen și bor găsit pentru ei. Conform acestor date, se pot scrie cel puțin două structuri fără a avea

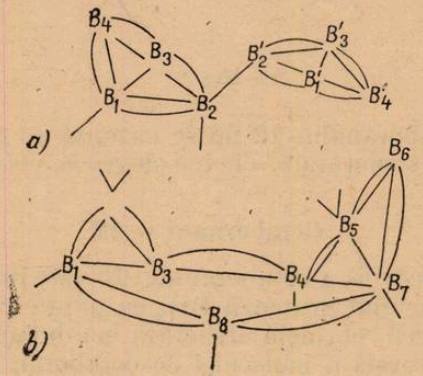


Fig. 10

vreun argument hotărîtor pentru una din ele (5). Conținutul înalt de hidrogen elimină fragmentul icosaedric compact ca unitate structurală. Este posibilă o structură de bitetraboranil (fig. 10 a) care ar putea fi formată prin condensarea a două molecule de tetraboran prin doi atomi de bor sau un fragment linear icosaedric (fig. 10 b), format prin înlăturarea atomilor B_2 și B din structura decaboranului 14.

Prima structură este confirmată de datele de R.M.N. care indică prezența unei perechi echivalente de atomi de bor cu un singur hidrogen terminal. Structura a doua concordă, de asemenea, cu datele de R. M.N. în ce privește numărul atomilor de bor cu unul sau doi hidrogeni terminali dar diferă prin aceea că ea conține trei perechi de atomi de bor echivalenți avînd un singur hidrogen terminal. Pentru o adaptare cu spectrul observat, e necesar să presupunem o acoperire parțială întîmplătoare a dubleților provenind de la atomii de bor 1—5 și 3—7. Pe baza acestei structuri putem explica ușor formarea hexaboranului 12 în prezență de hidrogen din octaboran prin înlăturarea grupărilor BH_3 din pozițiile 2 și 6. Cele două structuri se deosebesc între ele numai prin aranjarea a două punți de hidrogen ; formarea hexaboranului 12 este deci posibilă și din prima structură numai că necesită mai multă rearanjare.

Decaboranul 14

Pentru elucidarea structurii acestei hidruri complexe au fost necesari ani îndelungați de muncă și studiu. Prin îmbinarea metodelor fizico-chimice cunoscute, astăzi s-a ajuns la un rezultat satisfăcător. Problema determinării structurii acestui compus era foarte importantă deoarece ea stă la baza altor structuri și mai complicate, cum ar fi $n-B_{18}H_{22}$ sau $i-B_{18}H_{22}$ (6).

Folosirea metodei densității electronice a permis să se precizeze coordonatele atomilor de bor și hidrogen. Ulterior s-au adus completări folosind metoda pătratelor mici. S-a constatat că scheletul moleculei estecompus din piramide pentagonale unite prin muchia comună a bazei (fig. 11). Molecula astfel prezentată are centrul de simetrie și două axe perpendiculare de ordinul doi iar atomii de bor din schelet ocupă 10 din cele 12 vîrfuri ale icosaedrului slab deformat. Deoarece această structură nu se încadra în teoria electronică a legăturii, au trebuit făcute noi studii.

Un prim pas în rezolvarea acestei probleme a fost aplicarea teoriei legăturilor tricentrice pornind de la următoarele două ipoteze :

— fiecare atom de bor dispune de trei electroni și patru orbitali hibrizi sp ^{3} iar atomul de hidrogen — de un electron și un orbital.

— șase atomi de bor dispun de o orbită sp ^{3} și o jumătate de electron pentru fiecare legătură B—H—B

Ținînd seama de cele arătate mai sus, s-a găsit că scheletul de bor conține două legături bicentrice între atomii 2—6, 4—9 și șase legături

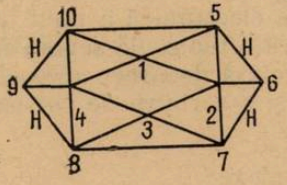


Fig. 11

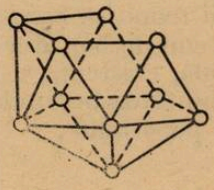


Fig. 12

tircentrice din care patru sînt legături tricentice centrale între atomii de bor : $B_{10}—B_1—B_5$, $B_1—B_2—B_3$, $B_1—B_4—B_3$ și $B_8—B_3—B_7$. Celelalte două legături rămase sînt legături tricentrice deschise : $B_{10}—B_4—B_5$, și $B_8—B_2—B$

Aceste reprezentări teoretice de mare importanță au reflectat insuficient de precis structura electronică a decaboranului, conducînd la determinarea greșită a sarcinii atomului de bor. Pentru refacerea calculelor s-a folosit o nouă metodă și anume metoda L.C.A. O.M.O. care a dat rezultate ce concordă mai bine cu proprietățile fizice și chimice ale decaboranului dar nici acestea nu sînt satisfăcătoare. Prin studii de R. M.N. s-au completat datele ce ilustrează structura decaboranului (fig. 12),(7), (8).

O particularitate interesantă a decaboranului este prezența în molecula sa a trei legături tricentrice B—H—B. Din calcule teoretice s-a găsit că atomii de legătură ai hidrogenului din decaboran sînt mai pozitivi ca cei terminali. Datorită acestui fapt, decaboranul este un acid puternic care ia te da săruri cu bazele.

Decaboranul dă reacții interesante cu reactanții nucleofili prin atomii B_6 și B_9 care au sarcină pozitivă mare.

$$n—B_{18}H_{22} \text{ și } i—B_{18}H_{22}$$

Aplicînd metoda difracției cu raze X, s-a stabilit formula și structura moleculară cuprinzînd toate pozițiile atomilor de hidrogen în $B_{18}H_{22}$. (5)

Molecula de $n—B_{18}H_{22}$ cu simetrie de centru se poate considera că provine din două molecule de decaboran-14 puse în comun prin muchia 5—6 ce se deschid în direcții opuse. Din structura decabornanului se pot deduce pentru $B_{18}H_{22}$ peste 900 de structuri din care numai 30 au un centru de simetrie. Prin reacția ionului $B_{18}H_{22}$ — cu acizii, s-a identificat ca produs

secundar i — $B_{18}H_{22}$ care este izomerul lui n—$B_{18}H_{22}$. Şi acest izomer are molecula formată din nouă unităţi de decaboran cu muchia comună între B_9B_{10}.

Boranii polimeri $(BH)_{12}$

S-a constatat că reacţia dintre decaboran-14 şi diboran în fază lichidă conduce la produşi solizi de culoare galbenă. (9) Molecula de diboran se poate ataşa de molecula decaboranului la partea exterioară a acestuia sau prin completarea icosaedrului urmată de pierderea hidrogenilor de legătură din molecula decaboranului. Spectrul de infraroşu al solidului galben indică un vîrf la 256 $0cm^{-1}$ care a fost atribuit unei legături $B—H_t$. Absenţa oricărei absorbţii atribuite frecvenţei $B—H_p$ favorizează structura icosaedrului complet.

Structura de reţea este astfel alcătuită încît jumătate din hidrogenul moleculei poate fi pierdut prin încălzire la 180—200 C. Pentru a se pierde şi restul de hidrogen sînt necesare temperaturi mult mai ridicate. Deşi consideraţii teoretice bazate pe structura electronică a unui icosaedru regulat de atomi de bor, duc la concluzia că o moleculă separată de $B_{12}H_{12}$ este instabilă, existenţa ei nu trebuie exclusă deoarece aceeaşi teorie prevede instabilitatea boranului tetragonal şi a carburii de bor care de altfel sînt foarte persistente.

Hidruri complexe

Carborani

Dintre hidrurilecomplexe ale borului un rol important îl au carboranii. Ei sînt hidruri mixte de bor şi carbon şi au formula generală $B_n C_2 H_{n+2}$. Din această clasă mai bine cunoscuţi sînt termenii cu n=3, 4, 5, şi 10. Deoarece un atom de bor cu o sarcină negativă este izoelectronic cu un atom de carbon, prin înlocuirea în ionii poliedricii $B_n H_n^{2-}$ a doi atomi de bor şi a celor două sarcini negative cu doi atomi de carbon, se pot obţine molecule neutre de $B_{n-2}C_2H_n$ sau $B_n C_2 H_{n+2}$ care au fost denumite carborani.

În spectrul de masă al produsului rezultat prin reacţia diboranului cu acetilena s-au identificat primii termeni ai seriei carboranilor.

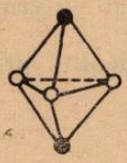


Fig. 13

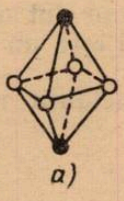


Fig. 14

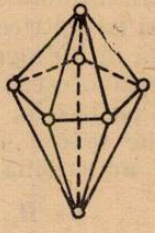


Fig. 15

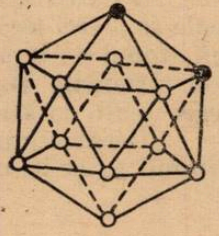


Fig. 16

Cercetîndu-se spectrul de masă, spectrele I. R. şi R.M.N.ale compuşilor obţinuţi, s-au putut face aprecieri asupra structurii lor. Aceste date ne arată că molecula B_3C_2H este formată din trei grupe B—H identice şi două grupe C—H identice. Din spectrul de masă rezultă că nucleul B_3C_2 este stabil şi că structura cea mai probabilă a moleculei $B_3C_2H_5$ este aceea a

unei bipiramide trigonale, în care trei atomi de bor și trei atomi de hidrogen sînt dispuși în plan, iar atomii de carbon sînt situați pe axa perpendiculară pe acest plan. (fig. 13). Această structură este identică cu cea a ionului $B_5H_5^{2-}$ care este izoelectronic cu molecula $B_3C_2H_5$.

Reacția dintre pentaboran și acetilenă la temperatură și sub presiune ridicată sau sub influiența descărcărilor electrice permite izolarea a doi izomeri $B_4C_2H_6$ (carborani—4) : un compus cu structură simetrică și unul cu structură asimetrică. Izomerul simetric este cel mai stabil. Cele patru grupe B—H sînt situate în plan iar cele două grupe C—H pe axa perpendiculară, de o parte și alta a pătratului format de atomii de bor (fig. 14). Izomerul asimetric se deosebește de cel simetric prin poziția diferită a unui atom de bor (fig. 14 b) Ambele structuri izomere ale carboranilor—4 derivă de la structura anionului $B_6H_6^{2-}$ izoelectronic prin înlocuirea a două unități B^{-1} cu cîte un atom de carbon.

Studii amănunțite făcute asupra spectrelor I.R., R.M.N. și spectroscopia de microunde au dat informații precise despre structura nucleului B_5C_2 din carboranul — 5. S-a stabilit că acesta este de tipul unei biprisme pentagonale (fig. 15) în care atomii de carbon sînt situați în două vîrfuri neadiacente ale pentagonului.

Cel mai cunoscut termen al seriei carboranilor este $B_{10}C_2H_{12}$ carboranul — 10 (baren). El este isoelectronic cu anionul $B_{12}H_{12}^{2-}$. Constituția carboranului nu a fost încă definitivată. Studiul structurii lui prin metoda difracției de raze X indică o constituție apropiată de cea icosaedrică în care fiecare atom de carbon al nucleului este legat prin două legături trielectronice cu patru atomi de bor învecinați (fig. 16) Cercetările întreprinse au arătat că prin încălzire la 500°C carbonaul-10 nesubstituit se izomerizează trecînd în neocarbon care are o structură icosaedrică și este izomerul „meta" al carboranului-10 (cu cei doi atomi de carbon separați printr-un atom de bor). Teoretic este prevăzută și existența izomerului „orto" dar acesta nu s-a putut separa pînă acum.

Caracteristica fundamentală a nucleului boranic o constituie caracterul său electrono-acceptor care influențează mult proprietățile chimice ale compușilor săi. Comportarea chimică a nucleului carbonic indică un caracter cuasiaromatic.

Ioni derivați ai hidrurilor de bor

Structura ionilor derivați de la hidrurile de bor s-a stabilit prin analogie cu structura acestor hidruri și este reprezentată astfel: $B_pH_{p+q+c}^c$. În timp ce pentru hidrurile simple de bor formula este B_pH_{p+q} în care $q = s + x$; $p = s + t$; $p = t + y + \frac{q}{2}$, în cazul ionilor ecuațiile de echilibru sînt puțin modificate :

$$s + x = q + c; \quad s + t = p + c; \quad t + y = p - e\frac{q}{2}$$

În ambele cazuri s — reprezintă legăturile de hidrogen
x — alte grupe decît grupa B—H
t — legături tricentrice de tipul B—B—B
y — legături bicentrice B—B

Structura acestor compuși poate fi ușor determinată în forma topologică dacă se cunosc cele patru numere s, t, y, x care le preced în formulă. De exemplu, diboranul are structura 2002 B_2H_6 (3)

Boranaţi

Boranaţii sînt ultimii reprezentanţi ai hidrurilor complexe în care pe lîngă bor şi hidrogen, intervine un element nou — metalul. Ei sînt reprezentanţi prin formula $M_n(BH_4)_n$.

Studiile făcute au permis clasificarea boranaţilor în două clase:
— boranaţi tipic ionici ai metalelor alcaline
— boranaţi tipic covalenţi ai aluminiului şi beriliului

Între aceste două clase se găsesc boranaţii celorlalte elemente.

Caracteristic boranaţilor cu caracter ionic este existenţa ionului tetraedric BH_4^- în compoziţia lor, puţin deranjat în simetrie de către cation.

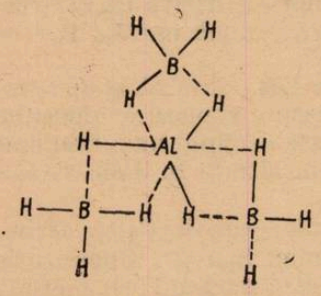


Fig. 17

Acest lucru a fost constatat prin studierea spectrelor de infraroşu la boranaţii de litiu, sodiu şi potasiu. Pentru boranatul de aluminiu, aceste studii ne arată o structură cu punţi de hidrogeni ca aceea a diboranului. Fiecare atom de bor este asociat cu doi hidrogen din punte şi cu doi hidrogeni terminali (3) (10).

Studiile de R.M.P. pentru acest compus arată că nu există nici un fel de deosebire între cele două tipuri de hidrogeni şi că boranatul de aluminiu poate fi considerat ca un fel de boran în care atomul de bor a fost înlocuit cu analogul său aluminiul (fig. 17)

Reactivi Grignard anorganici

După cum se ştie reactivii Grignard anorganici au formula generală R—Mg, în care R este un radical provenit de la hidrura de bor corespunzătoare. Structura acestor compuşi nu este pe deplin lămurită.

BIBLIOGRAFIE

[1] *W. N. Lipscomb* J. Chem. Phys., 1962, nr. 37 pag. 2872
[2] *W. N. Lipscomb* Inorg. Chem., 1964, nr. 12, pag. 1683
[3] *W. N. Lipscomb* Advan. Inorg. Chem. Radiochem. 1959, vol. 1
[4] *D. A. Phillip* Inorg. Chem. 1964, nr. 8 pag. 1191
[5] *I. Dobson* J. Amer. Chem. Soc. 1965, nr. 87 pag. 4072
[6] * * * Uspehii himii 1965, nr. 36, pag. 104.
[7] *Ionel Haiduc* Studii şi cercetări chimice, 1964, nr. 11
[8] *V. I. Stanko* Uspehii himii, 1965, vol. 34, nr. 6, pag. 1011
[9] *I. Shapiro* J. Amr. Chem. Soc., 1959, nr. 81 pag. 4787
[10] *H. G. Heal* "Recent studies in boron chemistry" 1960

CONTRIBUȚII LA STUDIUL PRECIPITĂRII IONILOR DE CUPRU: OGLINDA DE CUPRU

Dr. *S. COSMA*
conf. univ. I.P.C.D. Timișoara

Ionii de cupru — Cu^{2+} — pot fi precipitați din soluții, în anumite condiții, rezultînd cupru cristalizat /1/, cupru fin divizat /2/ — catalizatorul de cupru —, sau cupru în stare coloidală /3/.

În primul caz, cupru cristalizat se obține prin reducerea compușilor de cupru, în soluție, folosind ca reducători hidrogenul /4/, fosforul /5/, unele metale: Cu /6/, Zn, Fe; compuși anorganici, ca SO_2 /7/; Cu_2SO_3 /8/, prin încălzire, în prezența apei, la 200 °C, în tub închis, conduce la cupru cristalizat. De asemenea unii compuși organici ai cuprului, ca formiatul de cupru, încălzit în tub închis se descompune, rezultînd cupru cristalizat /9/. Încălzind o soluție amonicală de clorură cuproasă — $[Cu(NH_3)_2]OH$, în prezența unui tartrat alcalin și a aldehidei formice — pe baia de apă — se obține cupru cristalizat /10/.

Obținerea cuprului fin divizat — catalizatorul de cupru — constă în reducerea oxidului cupric CuO, cu hidrogen sau oxid de carbon; de asemenea, prin introducerea pulberii de zinc /11/ într-o soluție concentrată de $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, sau tratînd licoarea Schweitzer — $[Cu(NH_3)_4](OH)_2$ — cu glucoză, în mediu alcalin de KOH /12/ se obține un precipitat fin de culoare roșie-închisă.

Cercetările privind obținerea cuprului coloidal sînt numeroase. Dintre acestea vom aminti — în ordine cronologică — cîteva. Lottermoser /13/ obține un hidrosol de cupru, tratînd un amestec de soluții de $CuCl_2$ și NH_4NO_3 cu o soluție de $SnCl_2 \cdot 2H_2O$, reducătorul. Gutbier /14/ și Gutbier și Hoffmeier /15/ obțin hidrosoluri de cupru-albastre, iar Meyer /16/ obține un hidrosol de cupru roșu. Piccard și Larsem /17/ au obținut un hidrosol de cupru cu un grad mare de dispersie, tratînd un aliaj Raney — de cupru și aluminiu — cu NaOH. Freundlich și Steiner /18/ au obținut un hidrosol de cupru extrem de fin, reducînd ionii complecși de cupru $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ cu hidrazină H_2N-NH_2. Ei au constatat că formarea coloidului este catalizată de o soluție de fosfor în eter sau una de hidrogen fosforat în eter. Faucounau /19/ a obținut hidrosolul de cupru, tratînd aliajul Dewarda/Al: 45%, Cu: 5 %, Zn: 5%/ cu NaOH. S. Cosma /20/ a obținut de asemenea un sol metastabil, tratînd soluțiile acide ale unor compuși de cupru —la cald — cu urotropină și apoi alcalinizînd.

Se mai cunosc procedee de obținere a hidrosolurilor de cupru prin electroliză sau pe cale uscată etc.

Oglinda de cupru: procedeul Cosma

Am amintit mai sus că Freundlich și Steiner /18/ au obținut hidrosolul de cupru prin reducerea ionilor complecși de cupru cu hidrazină. Folosind sulfatul de hidrazinum $[NH_3 - NH_3]SO_4$ ca reducător, în condițiile ce se descriu mai jos, noi am reușit să reducem ionii de $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ pînă la element, o parte precipitînd pe pereții eprubetei sub fomă de oglindă metalică de cupru, iar restul, sub formă de microcristale de cupru, de culoare roșie închisă.

Pînă în prezent nu am sesizat în literatură un studiu special, privind precipitarea ionilor de cupru, ca oglindă metalică pe un perete de sticlă, similar oglinzii de argint.

Tehnica procedeului

Într-o eprubetă — recomandabil mai lungă şi cu un diametru mai mare — în prealabil bine spălată cu HNO_3 conc., apoi cu soluţie de NaOH, cu apă şi clătită cu apă distilată /21/, se introduce aproximativ 1 ml soluţie de $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 20%, în prealabil filtrată. Se adaugă soluţie de NH_3 conc., pînă ce precipitatul iniţial — verde de $Cu(OH)_2$ — se dizolvă — aproximativ 1 ml —. Se obţine astfel o soluţie albastră care conţine ionii $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$. Se adaugă aproximativ 0,4 g — un vîrf de cuţit — sulfat de hidrazinium $[H_3N-NH_3]SO_4$, agitîndu-se uşor. Începe o efervescenţă, datorită degajării azotului şi concomitent, o decolorare a soluţiei. Se adaugă imediat soluţie de KOH 20%, agitînd uşor, pînă ce apare hidrosolul galben de Cu_2O — oxidul cupros coloidal nestabil /22/, aproximativ 1—1,5 ml. Lichidul din eprubetă să nu depăşească o doime din lungimea eprubetei. Se fixează eprubeta cu un cleşte de lemn şi se încălzeşte la flacăra unei lămpi de spirt *fără a se agita eprubeta.* După puţin timp, o jumătate de minut, culoarea hidrosolului se închide şi pe peretele eprubetei expus flăcării apare oglinda strălucitoare de cupru. Se roteşte treptat eprubeta deasupra flăcării pentru ca oglinda să se formeze pe toată suprafaţa interioară a ei. În tot timpul încălzirii se produce efervescenţă, datorită degajării de azot şi de amoniac. Pentru a evita debordarea lichidului din eprubetă se ridică intermitent eprubeta

O altă parte din cuprul redus formează un precipitat, alcătuit din microcristale care se depun în eprubetă. Încălzirea durează pînă ce oglinda s-a format, iar lichidul din eprubetă devine limpede. Se varsă conţinutul eprubetei şi se clăteşte cu apă distilată. Eventual — precipitatul se filtrează şi se spală cu apă distilată, pînă la reacţia neutră a lichidului de spălare. După uscare se obţine o pulbere de culoare roşie închisă.

Fenomenul chimic constă, în principiu, în reducerea ionului de Cu^{2+} — oxidantul sau acceptorul de electroni — de către $[N-N]^{4-}$, reducătorul sau donorul de electroni, în mediu alcalin :

$$4Cu^{2+} + 2[N-N]^{4-} = 4Cu^0 - 2N_2^0$$

Procesele chimice, în ordinea succesiunii lor, sînt reflectate de ecuaţiile chimice, scrise în mod elementar, după cum urmează :

1/ $[Cu(OH_2)_4]SO_4 \cdot H_2O + 2NH_4OH = Cu(OH)_2 + (NH_4)SO_4 + 7H_2O$;
2/ $Cu(OH)_2 + 4NH_3 = [Cu(NH_3)_4](OH)_2$;
3/ $[Cu(NH_3)_4](OH)_2 + H_2SO_4 \cdot N_2H_4 = [Cu(NH_3)_4]SO_4 + 2H_2O + N_2H_4$;
3/ $4[Cu(NH_3)_4]SO_4 + N_2H_4 = 2[Cu(NH_3)_2]_2SO_4 + N_2 + (2NH_4)_2SO_4 + 4NH_3$;
4/ $2[Cu(NH_3)_2]_2SO_4 + 2KOH = 2[Cu(NH_3)_2]OH + K_2SO_4$;
4'/ $2[Cu(NH_3)_2]OH = Cu_2O + H_2O + 4NH_3$;
5/ $2Cu_2O + N_2H_2 \cdot H_2SO_4 + 2KOH = 4Cu + N_2 + 2H_2O + K_2SO_4 + 2H_2O$.

Observaţii.

Ecuaţiile chimice 1/ şi 2/ sînt frecvent întîlnite. În cazul ecuaţiei 3% observăm apariţia complexului amoniacal /23/ :

$$[Cu(NH_3)_4]SO_4,$$

care de asemenea este cunoscut, sulfatul tetramminocupric. Acesta este redus de sulfatul de hidrazinium, numit obișnuit sulfatul de hidrazină, $[H_3N-NH_3]SO_4$, la complexul incolor $[Cu(NH_3)_2]_2 \cdot SO_4$, sulfatul diammin cupros, solubil și care a fost obținut sub forma unor lamele hexagonale /24/. Acest complex — sulfatul de diammin-cupru-1-, în prezența ionilor OH, trece în hidroxidul complexului corespunzător, hidroxidul de diammin cupru-1, cunoscut în soluție, care spre deosebire de cel tetramminic este incolor /25/, ecuațiile chimice 4 și 4'. În mediu puternic alcalin trece în hidrosolul galben de Cu_2O /26/ —ecuația 4'/ —. Oxidul cupros coloidal în prezența excesului de sulfat de hidrazină, în mediu de KOH, la cald, este redus la cupru elementar care se depune ca oglindă metalică în parte, iar hidrazina este oxidată la azot elementar, care se degajă. În esență fenomenul este cel amintit mai sus :

$$4Cu^{2+} + 2[N-N]^{4-} = 4Cu^0 + 2N_2^0.$$

— Se pot folosi și alți compuși de cupru, dar rezultatele cele mai bune sînt cele obținute de la sulfatul de cupru.

— Se poate folosi în locul hidroxidului de potasiu, cel de sodiu, în aceeași concentrație.

— În locul sulfatului de hidrazinium se poate folosi hidratul de hidrazinium $H_2N-NH_2 \cdot H_2O$, în soluție apoasă. În acest caz, la soluția amoniacală de $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, obținută, cum a fost indicat mai sus, se adaugă picătură cu picătură soluție de hidrat de hidrazină, agitînd eprubeta, pînă ce soluția albastră de $[Cu(NH_3)_4](OH)_2$, se decolorează, în urma reducerii ionului colorat $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$, la ionul incolor de $[Cu(NH_3)_2]^{1+}$. În continuare se procedează ca în cazul descris mai sus.

— Se cunoaște complexul sintetizat de Rimini $CuSO_4(N_2H_5)_2 \cdot SO_4$ /27/, adică un sulfat dublu de cupru și de hidrazinium $CuSO_4 \cdot (N_2H_4)_2 \cdot H_2SO_4$, care se prezintă ca o pulbere fină de culoare albastru deschis, practic insolubilă în apă rece, proprietate care a permis lui Reichenstein să dozeze cuprul sub această formă /28/. Acest complex se obține tratînd o soluție de $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ cu $N_2H_2SO_4$ — sulfat de hidrazină —. Am constatat că sulfatul dublu de cupru și hidrazină — complexul lui Rimini — se dizolvă într-o soluție apoasă de amoniac, rezultînd inițial o soluție colorată intens în albastru și care ulterior se decolorează, deoarece în cadrul aceleiași molecule se află și oxidantul și reducătorul, și care în mediu amoniacal reacționează, rezultînd complexul amoniacal de Cu—I, solubil și incolor, amintit mai sus. Adăugînd acestei soluții KOH 20% apare hidrosolul galben de Cu_2O, care la cald, cum s-a arătat mai sus, este redus la cupru elementar, care se depune sub formă de oglindă metalică strălucitoare, iar altă parte precipită în eprubetă. Fără îndoială că procesul chimic inițial — dizolvarea complexului în amoniac este reflectat de ecuația chimică :

$$CuSO_4(N_2H_4)_2H_2SO_4 + 6NH_3 = [Cu(NH_3)_4]SO_4 + (NH_4)_2SO_4 + {}_2N_2H_4$$

Restul proceselor chimice sînt similare celor amintite mai sus.

— Ionii metalelor grele, ușor reductibili cu hidrazina și compușii acesteia, împiedică în general obținerea oglinzii de cupru.

— Se pot folosi și volume mai mari de soluții, dar în acest caz trebue menținute raporturile între volume.

Concluzii

Ionii de Cu^2 pot fi precipitați sub formă de oglindă metalică strălucitoare, folosind ca reducător sulfatul sau hidratul de hidrazină în mediu alcalin de hidroxid de potasiu sau sodiu. Procedeul este expeditiv și reclamă reactivi obișnuiți în practica de laborator : NH_3, KOH sau NaOH și $N_2H_2SO_4$, care începînd cu ultimele decenii, se folosește la fabricarea unor medicamente și în dispozitivele de propulsare in tehnica rachetelor etc., drept combustibil.

Considerații de ordin didactic

Procedeul de obținere a cuprului sub formă de oglindă metalică poate reprezenta o experiență demonstrativă care să ilustreze în mod concret principiul de obținere a cuprului : oxidoreducerea ;

— se pot ilustra în mod extrem de instructiv unele proprietăți fizice și chimice ale cuprului : culoarea și luciul metalic al cuprului, dizolvarea chimică a cuprului în acizii oxigenați sau hidracizi, cu participarea oxigenului din aer, în NH_3. Experiențele, reclamînd un timp scurt, se pot executa și de elevi, în cadrul orelor de lucrări practice, la lecțiile respective.

Ecuațiile chimice implicate în explicarea fenomenelor chimice respective lărgesc orizontul elevilor referitor la compușii cuprului monovalent și bivalent, precum și la proprietățile fizico-chimice ale acestora. Se actualizează cunoștințe noi despre un compus cu azot- — hidrazina și derivații acesteia — care pînă în prezent nu se studiază în școală.

BIBLIOGRAFIE

[1] *Pascal* : Nouveau traité de chimie minérale, tome III, 1957, p. 156.
[2] *Pascal* : L.C.
[3] *Pascal* : L.C.
[4] *Ipatiew* : Ber. 60—1982—1927.
[5] *Wöhler* : Liebig's Ann., 79—126—1851.
[5] *Straub* : Z. anog. Chem. 35—460—1903.
[5] *Oppenheim* : Ber. —979—1872.
[6] *Sivohnen* : Z. Elektriochem., 37—80—1931.
[7] *Oppenheim* : L.C.
[8] *Geitner* : Liebig's Ann., 1—29—350—1864.
[9] *Riban* : C. R. 93—1023—1082—1818.
[10] *Sailendva-Nathsen* : Z. anorg. Chem., 181—427—1929.
[11] *Gattermann-Haussknecht* : Ber., 123—1221—1880.
[11] *Böttger* : Liebig's Ann., 39—172—1841.
[12] *Stolba* : Polyt. J. Dingler 190—495—868.
[13] *Lottermoser* : J. prakt. Chem., 2—59—489—1899.
[14] *Guthier* : Z. anorg. Chem., 32—355—1902.
[15] *Gutbier-Hoffmeier* : Z. anorg. Chem., 44—227—1905.
[16] *Meyer* : Z. anorg. Chem., 43—50—1903.
[17] *Piccard-Larsen* : Helv. Chim. Acta. 5—147—1922 ; 6—1044—1923.
[18] *Freundlich-Steiner* : J. Chim. Soc., 1081—1937.
[19] *Faucounau* : Bull. Soc. Chim., 5—4—59—1937.
[20] *Cosma* : Revista Fiz-Chim. Seria A, Vol I, 5—1964, p. 184.
[21] *Rheinbold* : Chemische Unterrischtsversuche, 4—Auflage, 1953 p. 177.
[22] *Remy* : Lehrbuch der anorg. Chimie, Band II—11—Auflage, 1961, p. 448.
[23] *Schering-Kahlbaum* : Reagentien Laboratoriums u. wissenschaftlichen Ptäparate—1935, p. 167.
[24] *Remy* : L. C. p. 435.
[25] *Remy* : L. C. p. 453.
[26] *Remy* : L. C. p. 448.
[27] *Rimini* : Atti. Acad. Lincei., 5—15—II—320—1906 :
[27] *Rimini* : Gázz. Chim. Ital., 29—I—265—1899.
[28] *Reichenstein* : Chimie analytique, 32—281—1950.

I.P.I. — c. 5875 | 43 459 | Lei 3

SOCIETATEA DE ȘTIINȚE FIZICE ȘI CHIMICE
DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Revista DE FIZICĂ ȘI CHIMIE

SERIA A
VOLUMUL V

11

NOIEMBRIE 1968

REDACȚIA REVISTEI DE FIZICĂ ȘI CHIMIE
STR. NUFERILOR. 23, SECTOR 7 BUCUREȘTI–45, TELEFON 16.42.86

SUMAR

Dumitru C. Ionescu

Formarea și distrugerea ionilor 401

Florea Uliu

Despre o consecință a neconservării parității la dezintegrarea nucleară 405

V. Dolocan

Metode de determinare a timpului de viață a purtătorilor de sarcină în semiconductori 410

Mihai Delibaș

Cercetări recente în domeniul spectroscopiei de absorbție atomică 420

M. Păunel

Considerații cu privire la stimulatori și ierbicide cu aplicație practică a 2,4 D la sinopis Arvensis 425

Sergiu Ispirescu

Model și modelare în chimie 430

Chelu Iunian

Funcția metodică a modelului 437

COMITETUL DE REDACȚIE

Ion Agîrbiceanu, prof. univ. (m. c. Acad. Republicii Socialiste România); **Teodor Bohățiel**, asist. univ. — redactor; **Simion Bulgarea**, prof.; **Maria Codreanu**, prof.; **Nicolae Martologu**, conf. univ. **Eleonora Mihul**, cercetător; **Ion C. Moisil**, conf. univ.; **Aliee Negoeseu**, prof.; **Ion C. Petrea**, conf. univ.; **Victor Sahini**, prof. univ (m. c. Acad. Republicii Socialiste România). Redactor responsabil; **Constantin D. Albu**, lector univ.

REVISTA DE FIZICĂ ŞI CHIMIE

SERIA A

volumul V, nr. 11 noiembrie 1968

FORMAREA ŞI DISTRUGEREA IONILOR

DUMITRU C. IONESCU

Facultatea de Fizică — Universitatea Bucureşti

Formarea şi distrugerea ionilor implică fenomene complexe ca ionizarea atomilor şi moleculelor prin ciocniri electronice, ciocnirile inelastice între atomi, ioni şi molecule, fotoabsorbţia, precum şi fenomenele inverse de recombinare.

1. *Ionii negativi.*

Procesul cel mai simplu de formare a unui ion negativ este capturarea unui electron de către un atom neutru. În urma ataşării electronului trebuie disipată o cantitate de energie egală cu suma energiei cinetice a electronului şi afinităţii electronice a atomului sau moleculei. Unul dintre aceste mecanisme este captura radiativă, în care surplusul de energie este disipat sub forma unei cuante de radiaţie :

$$\vec{e} + A \rightarrow A^- + h\nu$$

Timpul necesar pentru ca electronul să străbată cîmpul atomic este de aproximativ 10^{-15} s. În acest timp el are aceiaşi şansă să emită ca şi un electron de pe un nivel excitat. Timpul mediu pe care electronul l-ar petrece în această stare este 10^{-8} s. Deci probabilitatea de a radia energia suplimentară oprindu-se în atom pe un nivel stabil este de $10^{-15}/10^{-8} = 10^{-7}$. Această probabilitate destul de mică explică de ce intensitatea radiaţiei emise prin acest proces este neglijabil de mică în descărcările în gaze la presiune redusă.

Wildt în 1939 a identificat spectrul de ataşare radiativă a H^- ca fiind sursa dominantă în intervalul vizibil al spectrului continuu al soarelui. Spectrul în laborator a fost observat abia în 1951 de către Lochte care a lucrat cu un arc de hidrogen. Au fost observate apoi spectrele de afinitate ale O^- şi N^- în emisia arcurilor la presiune mare.

Alt mecanism pentru disiparea energiei eliberate în procesul de captură electronică este transformarea energiei unui al treilea partener de ciocnire, care poate fi un electron, ion, atom sau o moleculă :

$$\vec{e} + A + B \rightarrow A^- + B + \text{energie cinetică}$$

Probabilitatea transferului depinde de natura celui de al treilea partener (de secţiunea eficace de ciocnire) şi evident este mai mare dacă acesta este un atom sau o moleculă.

Ionul negativ molecular se poate forma prin capturarea unui electron liber de către o moleculă cu excitarea de vibraţie sau rotaţie a acestuia :

$$\vec{e} + [XY] \rightarrow [XY]^{-*}$$

Transferul surplusului de energie cînd electronul este capturat de o moleculă este mult facilitat spre deosebire de cazul atomului, din cauza posibilităţii de creştere a energiei cinetice prin mişcarea de vibraţie a nucleelor din moleculă. Stabilitatea unei asemenea structuri depinde de probabilitatea de ciocnire cu alt corp căruia să-i predea energia de excitaţie. Dacă ciocnirea nu are loc, ionul negativ molecular se poate disocia sau poate reveni la molecula iniţială după expulzarea unui electron.

În cazul disocierii, procesul se numeşte ataşare disociativă :

$$\vec{e} + [XY] \rightarrow [XY]^{-*} \rightarrow X + Y^{-}$$

Electronul poate acţiona pur şi simplu ca o sursă de energie şi poate excita molecula într-o stare nestabilă aşa încît ea să se disocieze într-un ion negativ şi unul pozitiv :

$$\vec{e} + [XY] \rightarrow e + X^{+} + Y^{-}$$

Există desigur o energie sub care acest proces nu poate avea loc. Peste valoarea critică probabilitatea ca el să aibă loc depinde de energia electronului.

Ionii negativi pot fi formaţi şi prin transferul unuia sau mai multor electroni unei structuri neutre sau unui ion pozitiv într-o ciocnire cu altă particolă :

$$A + B \rightarrow A^{-} + B^{+}$$

sau

$$C^{+} + D \rightarrow C^{-} + D^{2+}$$

În toate cazurile de mai înainte ionul negativ a fost considerat ca un sistem cu o serie de stări cuantice posibile. Criteriul de stabilitate al unui astfel de sistem este dat de relaţia :

$$E_1 + \sum_{i=1}^{Z} E_i^{-} > \sum_{i=1}^{Z} E_i^{0}$$

unde E_i^0 este energia de legătură a electronului „i" din atomul neutru cu Z electroni, E_i^- este energia de legătură a aceluiaşi electron în ionul negativ, iar E_1 energia de legătură a electronului ataşat. Diferenţa dintre energia totală a ionului şi a atomului neutru este afinitatea electronică a atomului neutru. Afinitatea electronică a moleculei se defineşte în mod analog ca fiind diferenţa dintre energia totală de legătură a ionului negativ şi cea a moleculei neutre cînd ambele structuri se află într-o stare neperturbată.

Încă din anul 1905 Paul Langevin a demonstrat că dacă un electron cu viteza liniară $\vec{v}_0$ trece prin apropierea unei molecule la o distanţă d de aceasta şi este satisfăcută relaţia :

$$d < \left[\frac{4\, e^2\, \alpha}{M_r\, V_2^0}\right]^{1/4}$$

în care α este polarizabilitatea moleculei, M masa redusă a celor două particole şi e sarcina electronului, electronul va avea o traiectorie spiralică în jurul moleculei. După ciocnire va fi reflectat pe o spirală iden-

tică cu prima. Timpul necesar desfăşurării acestei mişcări este suficient de mare pentru a considera sistemul astfel format un ion negativ.

Dacă $d = \left[\frac{4e^2\alpha}{M_r V_0^2}\right]^{1/4}$ electronul se va roti pe o traiectorie circulară în jurul moleculei. Pentru ca sistemul să fie stabil este necesară o ciocnire cu altă particolă căreia să-i predea surplusul de energie.

Ionii negativi moleculari de O_2^- şi H_2^- se pare că se pot forma în acest fel [1].

Fiecăruia dintre procesele de formare a ionilor negativi prezentate mai înainte îi corespunde un proces invers de distrugere. În afară de distrugerea ionilor negativi în contact cu pereţii vasului în care are loc descărcarea, următoarele procese pot avea ca rezultat detaşarea electronului de ionul negativ :

— ciocnirile ionilor negativi cu atomii excitaţi ;

— absorbţia radiaţiei de către ionii negativi (fotodetaşare) ;

— ciocnirile cu electronii, cu ionii rapizi, sau cu moleculele rapide ;

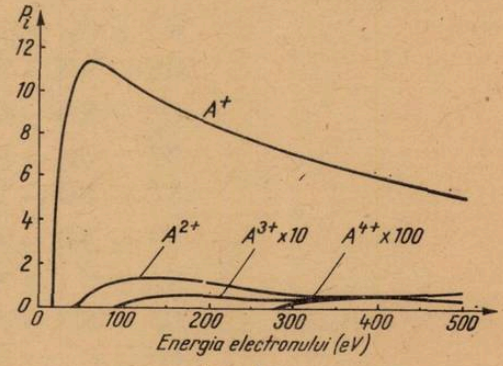


Fig. 1

— ciocnirile cu atomii neutri care conduc la formarea de molecule (detaşare asociativă).

2. *Ionii pozitivi.*

Probabilitatea de ionizare a atomilor şi moleculelor prin ciocniri electronice depinde atît de energia electronilor cît şi de natura atomilor şi moleculelor. Probabilitatea de ionizare depinde foarte mult de numărul sarcinilor smulse din atom sau moleculă şi este mult mai mare pentru prima ionizare faţă de a doua, ş.a.m.d.. Pentru a ilustra aceasta, în fig. 1 este redată probabilitatea de ionizare în funcţie de energia electronului pentru cazul argonului.

Se observă micşorarea probabilităţii de ionizare odată cu creşterea sarcinilor smulse, precum şi deplasarea maximului către energiile mai ridicate ale electronului.

În cazul ciocnirilor inelastice între atomi, ioni şi molecule, ionii pot fi formaţi în următoarele reacţii :

$A^+ + B \rightarrow A + B^+$ (transfer de sarcină)

$A^+ + B \rightarrow A^- + B^{2+}$ (transfer dublu de sarcină)

$A^+ + B \rightarrow A^+ + B^+ + e$ (ionizare)

$A^+ + B \rightarrow A + B^{2+} + e$ (ionizare cu transfer de sarcină)

$A^+ + B \rightarrow A^{2+} + B + e$ (despuiere)

$A^+ + B \rightarrow A^* + B^+$ } (transfer de sarcină însoţit de excitarea
$A^+ + B \rightarrow A + B^{+*}$ } unui nivel)

Sînt posibile şi reacţii, în cazul în care structurile ce se ciocnesc sînt molecule, din care să rezulte excitarea de vibraţie sau rotaţie, ori disocierea moleculei.

Există şi alte tipuri de reacţii inelastice care nu implică transfer de electroni şi care au loc cu o probabilitate destul de mare. Acestea sînt reacţiile de tipul ion-moleculă. Dintre ele vom considera reacţiile de interschimb ion-atom în care un atom este transferat de la unul din partenerii de ciocnire la celălalt. Reacţiile de interschimb au o mare importanţă în desfăşurarea fenomenelor din atmosfera superioară şi pot avea efecte hotărîtoare şi în experienţele din descărcările în gaze. Exemple de procese care pot avea loc în atmosfera superioară :

$$O^+ + N_2 \rightarrow NO^+ + N$$
$$O^+ + O_2 \rightarrow O_2^+ + O$$
$$O^+ + NO \rightarrow NO^+ + O$$
$$O^+ + NO \rightarrow O_2^- + N$$
$$N^+ + O_2 \rightarrow NO^+ + O$$
$$N^+ + NO \rightarrow NO^+ + N$$
$$N^+ + NO \rightarrow N_2^+ + O$$
$$N_2^+ + N \rightarrow N^+ + N_2$$
$$O_2^+ + N \rightarrow NO^+ + O$$
$$O_2^- + O \rightarrow O_2 + O^-$$

În astfel de reacţii ionii atomici care au coeficienţi de recombinare electronică foarte mici se pot transforma în ioni moleculari pentru care recombinarea are loc foarte rapid. Secţiunea eficace de interschimb ion-atom este egală cu :

$$q_{\text{interschimb}} = P\, q_0$$

unde q_0 este secţiunea eficace pentru ciocnirile orbitale, iar P este probabilitatea de efectuare a reacţiei de interschimb.

Fotoionizarea atomilor şi moleculelor are loc prin absorbţia unei cantităţi de energie necesară pentru smulgerea electronului din structura neutră sub forma unei cuante de radiaţie :

$$A + h\nu \rightarrow A^+ + e$$

Procesul invers de recombinare are loc cu emisia aceleiaşi cuante de radiaţie dacă echilibrul se restabileşte în aceiaşi stare de energie.

BIBLIOGRAFIE

1. *Theodor V. Ionescu*, C. R. Acad. Sc. Paris Nr. 14/1966 p. 944.
2. *Earl W. Mc Daniel*, "Collision Phenomena in Ionized Gases", John Wiley & Sons, INC. New York — London — Sydney — 1964.
3. N. A. *Kapţov*, „Fenomene electrice în gaze şi vid" Editura tehnică — 1955.

DESPRE O CONSECINȚĂ A NECONSERVĂRII PARITĂȚII LA DEZINTEGRAREA NUCLEARĂ

FLOREA IULIU Universitatea Craiova Inst. Pedagogic, Calea București 165

1. Introducere

În natură se cunosc patru tipuri de interacțiuni : interacții tari, interacții electromagnetice, interacții slabe și interacții gravitaționale. Acestea se deosebesc, între ele prin constantele de cuplaj — mărimi ce caracterizează tăria interacției și duratele de viață medie. Dintre aceste interacții, de o atenție deosebită s-a bucurat în ultimul deceniu studiul interacțiilor slabe.

Problema „$\tau - \theta$" a mezonilor K, $[K(\tau) \to 3\pi ; K(\theta) \to 2\pi]$ i-a condus pe fizicienii Lee și Yang în 1956 la idea neconservării parității spațiale (P) la interacții slabe, lucru confirmat experimental în 1957 prin experiențele profesoarei Wu. Landau a presupus atunci, că în cadrul interacțiilor slabe se realizează o conservare a așa numitei parități combinate (PC), care necesită odată cu trecerea la imaginea oglindită și trecerea de la particolă la antiparticolă*)

Pentru fundamentarea teoretică a neconservării parității, s-a considerat că neutrinii ar fi cei care ar determina acest interesant fenomen. S-a considerat că neutrinii sînt particole total polarizate longitudinal, adică spinul neutrinic ar fi pe direcția impulsului, în sens contrar acestuia în cazul neutrinului și în același sens în cazul antineutrinului.

Teoria, cunoscută sub denumirea de teoria neutrinului cu două componente, afirmă că funcția de undă ce caracterizează starea neutrinică are forma : $(1 \pm \varepsilon \gamma_5)\, u_\nu$, u_ν fiind o funcție de undă cu patru componente de tip Dirac pentru $M_\nu = 0$ iar 1 și γ_5 fiind matrici 4×4 ; ε este o constantă cu valoarea egală cu unitatea, în limita erorilor experimentale. Termenul în $\pm\gamma_5$ se datorește invarianței față de așa numita transformare de „chiralitate" și lui i se datotează neconservarea parității, e care am amintit mai sus.

În acest articol intenționăm să arătăm cum neconservarea parității determină în cazul dezintegării nucleare β^- (exemplu tipic de interacție slabă) o anizotropie în ceea ce privește direcțiile de zbor ale electronilor rezultați prin dezintegrare. Prezicînd în mod teoretic acest lucru, Lee și Yang au sugerat profesoarei Wu experiența prin care urma să se verifice prezența acestei anizotropii. Experiențele au fost făcute cu nuclee de cobalt 60, polarizat și, după cum se știe, au fost încununate de succes ; în acest fel a fost verificată neconservarea parității. Pentru lucrările lor în acest domeniu, fizicienilor Lee și Yang le-a fost decernat în anul 1957 premiul Nobel.

2. Lagrangeianul de interacțiune.

În teoria interacțiilor slabe, o problemă mult discutată a fost cea a naturii interacției. Fiind vorba de interacțiunea unor cîmpuri fermionice (cuantele cîmpurilor sînt particole cu spin 1/2 —fermioni) erau posibile cinci tipuri de interacțiuni, corespunzător celor cinci feluri de covarianți biliniari ce se pot construi din funcțiile de undă Dirac, matricile $\gamma_\alpha (\alpha = 1,4)$ și $\gamma_5 = \gamma_1\gamma_2\gamma_3\gamma_4$. Tipurile de interacțiune corespunzătoare s-au numit : scalară (S), pseudoscalară (P), vectorială (V), pseudovectorială (A), și

*) Experiențele făcute în 1964 la Universitatea Princeton (S.U.A.) au arătat că nici pari etatea combinată nu se conservă întotdeauna.

tensorială (T), în acord cu caracterul celor cinci feluri de covarianți biliniari. Problema care se ridică este : care din aceste cinci tipuri de interacții posibile, se realizează în cazul interacțiilor slabe ? Experiențele dinainte de anul 1957 păreau să fundamenteze ideea că în cazul interacțiilor slabe cuadri-fermionice s-ar realiza o combinație de tip S—T. Gell-Mann și Feynman și independent de aceștia Sudarshan și Marshak, extinzînd invarianța la transformarea de „chiralitate" au arătat, în toamna anului 1957, că experiențele anterioare erau greșite deci și concluziile ce rezultau din ele și că în cazul interacțiilor slabe (prin urmare și în cazul dezintegrării β) se realizează o combinație de tip V—A. Aceasta, a făcut posibilă scrierea lagrangeianului de interacțiune sub forma unui produs de doi curenți :

$$L = \frac{g}{\sqrt{2}} \sum_{w} j_w j_w^+. \tag{1}$$

unde g este constanta de cuplaj iar j_w și j_w^+ în cazul dezintegrării β au forma :

$$j_w = \overline{u}_e O_\alpha u_\nu + \overline{u}_i O_\alpha u_f \tag{2}$$

$$j_w^+ = \overline{u}_\nu O_\alpha u_e + \overline{u}_f O_\alpha u_i \tag{3}$$

cu : $$O_\alpha = \gamma_\alpha (1 + \gamma_5) \tag{4}$$

Aici, u_e și u_ν sînt funcțiile de undă pentru electron respectiv neutrin u_f și u_i sînt funcțiile de undă nucleare în starea finală, respectiv inițială*). $\overline{u} = u^+ \gamma_4$, prin semnul + notînd conjugarea hermitică. O_α este o matrice, care după cum se vede, se compune din doi termeni : termenul γ_α corespunde interacțiunii vectoriale (V) iar termenul $\gamma_\alpha \gamma_5$ interacțiunii pseudovectoriale (A). Am presupus aici că cele două tipuri de interacțiuni contribuie cu aceeaș pondere la interacțiunea totală, lucru care nu e întotdeauna adevărat.

Înlocuind acum (2) și (3) în (1) și neglijînd termenii neîncrucișați, obținem

$$L = \frac{g}{\sqrt{2}} \sum_{\alpha=1}^{4} [(\overline{u}_e O_\alpha u_\nu)(\overline{u}_f O_\alpha u_i) + (\overline{u}_i O_\alpha u_f)(\overline{u}_\nu O_\alpha u_e)] =$$

$$= \frac{g}{\sqrt{2}} \sum_{\alpha=1}^{4} (\overline{u}_f O_\alpha u_i)(\overline{u}_e O_\alpha u_\nu) + h.c. \tag{5}$$

Al doilea termen (h. c.) este, conjugatul hermitic al primului. Dacă ne referim doar la dezintegrarea β^- trebuie să considerăm doar primul termen ; al doilea termen, descrie dezintegrarea β^+ și captura K. În cazul dezintegrări β s-a constatat că cele două tipuri de interacțiuni nu contribuie cu aceeași pondere la interacția totală : predomină interacția de tip pseudovectorial (A) cu un factor de pondere $\lambda = 1{,}25$. De aceea, în prima paranteză rotundă din expresia lui L în loc de O_α trebuie să considerăm $O'_\alpha = \gamma_\alpha(1 + \lambda \gamma_5)$. În a doua paranteză, după cum am menționat în introducere, vom considera $O''_\alpha = \gamma_\alpha(1 + \varepsilon \gamma_5)$. Deoarece ne ocupăm doar de dezintegrarea β^- din (5) păstrăm doar primul termen, și astfel avem :

$$L_0 = \frac{g}{\sqrt{2}} \sum_{\alpha=1}^{4} (\overline{u}_f \gamma_\alpha (1 + \lambda \gamma_5) u_i)(\overline{u}_e \gamma_\alpha (1 + \varepsilon \gamma_5) u_\nu) \tag{6}$$

*) Notația folosită aici pentru stările nucleare este improprie ; am adoptat-o doar pentru uniformitate.

Utilizînd metrica $\gamma_\alpha \gamma_\alpha = \vec{\gamma}\vec{\gamma} - \gamma_4 \gamma_4$ acest lagrangeian de interacţiune se poate descompune în felul următor :

$$L_0 = \frac{g}{\sqrt{2}} \sum_{K=1}^{2} u_f^+ \gamma_4 \gamma_K u_i u_e^+ \gamma_4 \gamma_K (1 + \varepsilon \gamma_5) u_\nu +$$

$$\frac{\lambda g}{\sqrt{2}} \sum_{K=1}^{3} u_f^+ \gamma_4 \gamma_K \gamma_5 u_i u_e^+ \gamma_4 \gamma_K (1 + \varepsilon \gamma_5) u_\nu - \tag{7}$$

$$- \frac{g}{\sqrt{2}} u_f^+ u_i u_e^+ (1 + \varepsilon \gamma_5) u_\nu - \frac{\lambda g}{\sqrt{2}} u_f^+ \gamma_5 u_i u_e^+ (1 + \varepsilon \gamma_5) u_\nu .$$

Termenii independenţi de λ sînt aşa-numiţii termeni de interacţiune Fermi iar cei dependenţi de λ termeni de interacţiune Gamow-Teller. În studiul regulilor de selecţie se demonstrează că în cazul unor tranziţii propiu zise (momentul cinetic nuclear iniţial diferă de momentul cinetic nuclear final), termenii de interacţiune Fermi, cad în mod automat. De aceea, îi vom neglija de la bun început. În cei doi termeni de interacţiune Gamow-Teller, operatorii nucleari sînt respectiv $\gamma_4 \gamma_K \gamma_5$ şi γ_5. Analiza comportării acestor operatori la inversie arată că $\gamma_4 \gamma_K \gamma_5$ este par iar γ_5 este impar. În baza regulilor de selecţie, considerînd stările nucleare, iniţială şi finală, stări de aceeaş paritate va trebui să considerăm pentru lagrangeian doar acel termen, care conţine operatorul par sub inversie. Aşadar, lagrangeianul efectiv cu care vom lucra are forma :

$$L_{ef} = \frac{\lambda g}{\sqrt{2}} \sum_{K=1}^{2} u_f^+ \gamma_4 \gamma_K \gamma_5 u_i u_e^+ \gamma_4 \gamma_K (1 + \varepsilon \gamma_5) u_\nu \tag{8}$$

Dacă vom nota $i \sigma_K = \gamma_4 \gamma_K \gamma_5$, atunci $\gamma_4 \gamma_K = i \sigma_K \gamma_5$ şi prin urmare putem scrie :

$$L_{ef} = - \frac{\lambda g}{\sqrt{2}} u_f^+ \vec{\sigma} u_i u_e^+ \vec{\sigma} \gamma_5 (1 + \varepsilon \gamma_5) u_\nu . \tag{9}$$

Cunoscînd forma lagrangeianului de interacţiune, vom putea trece acum a -calularea probabilităţii de tranziţie, pentru cazul propus.

3. Probabilitatea de tranziţie.

Să considerăm reacţia de dezintegrare :

$$N_i \to N_f + e^- + \tilde{\nu}$$

în care starea nucleară iniţială este descrisă de vectorul $|jm>$ iar starea finală de vectorul $|j_1 m_1>$*). Aici am notat cu j, m respectiv j_1, m_1 momentul cinetic total şi proiecţia sa pe axa Oz în starea iniţială, respectiv finală.
În teoria cuantică a cîmpurilor se demonstrează că probabilitatea de tranziţie, în primă aproximaţie, are forma :

$$w = A \Sigma |L_{ef}|^2 \tag{10}$$

unde A este un factor constant; aici însumarea se face asupra acelor mărimi care nu interesează în observaţiile măsurătorile-finale. În cazul nostru, acestea le presupunem a fi $\vec{q}_0$-versorul în direcţia impulsului neutrinic,

*) Am introdus notaţia $|jm>$ şi $|j_1 m_1>$ în loc de u_i şi u_f.

m și m_1 m_e și m_ν (m_e și m_ν au aceeași semnificație ca m și m_1 dar se referă la electron și neutrin). Urmează să înlocuim în (10) pe $L_{ef.}$ și să evaluăm probabilitatea de tranziție. Folosind pentru electron și neutrin unde plane, de forma :

$$\left.\begin{aligned} u_e &= u^\circ(p)\ \exp\ (i\vec{p}\cdot\vec{r}) \\ u_\nu &= v^\circ(q)\ \exp\ (-i\vec{q}\cdot\vec{r}) \end{aligned}\right\} \tag{11}$$

unde $u^\circ(\vec{p})$ și $v^\circ(q)$ sînt bispinorii electronului liber cu impuls $\vec{p}$ respectiv a neutrinului liber cu impuls $\vec{q}$; obținem pentru probabilitatea de tranziție următoarea expresie **) :

$$w = A' \sum_{m_1 m_1} \int d q_0 \sum_{m_e,\, m_\nu} | < j_1 m_1 | \vec{\sigma} \exp (-i \vec{P}\cdot$$

$$\cdot \vec{r}) | jm > u^{\circ *}(p)\, \vec{\sigma}\, \gamma_5)\,(1 + \varepsilon \gamma_5)\, \nu^\circ(q) |^2, \tag{12}$$

unde $\vec{P} = \vec{p} + \vec{q}$ este impulsul de recul al nucleului. Considerînd că energia particolelor rezultate din dezintegrare este suficient de mică pentru ca în dezvoltarea în serie :

$$\exp\ (-i\vec{P}\cdot\vec{r}) = 1 - i\vec{P}\cdot\vec{r} + \ldots \tag{13}$$

să ne putem limita doar la primul termen (cazul tranzițiilor „permise") și notînd :

$$\vec{M} = < j_1 m_1 | \vec{\sigma} | j\ m > \tag{14}$$

$$\vec{t} = \vec{\sigma}\, \gamma_5\, (1 + \varepsilon \gamma_5) \tag{15}$$

putem scrie :

$$w = A' \sum_{m,\, m_1} \sum_{m_e,\, m_\nu} \int \mathrm{d}q_0 \,|\, u^{\circ *} \vec{t}\cdot\vec{M} v^\circ \,|^2 \tag{16}$$

Pentru calcularea lui $| u^{\circ *} \vec{t}\ \vec{M}\ v^\circ |^2$ să calculăm fiecare termen în parte :

$$u^{\circ *} \vec{t}\ \vec{M}\cdot v^\circ = \sum_{\rho_1 \lambda} u^{\circ *}_\rho \vec{t}_{\rho\lambda}\cdot \vec{M}\, v^\circ$$

$$(u^{\circ *} \vec{t}\cdot \vec{M}\, v^\circ |)^* = \sum_{\rho_1' \lambda'} u^{\circ}_{\rho'} \vec{t}^{\,*}_{\rho'\lambda'}\cdot \vec{M}^*\, v^{\circ *}_{\lambda'} = \sum_{\rho_1' \lambda'} u^{\circ}_{\lambda'} \vec{t}^{\,+}_{\lambda'\rho'}\cdot \vec{M}^*\, v^{\circ *}_{\lambda'}$$

Așadar avem :

$$| u^{\circ *} \vec{t}\cdot \vec{M}\, v^\circ |^2 = \sum_{\rho,\lambda} \sum_{\rho'\lambda'} u^{\circ *}_\rho \vec{t}_{\rho\lambda}\cdot \vec{M}\, v^\circ_\lambda\, u^{\circ}_{\rho'} \vec{t}^{\,+}_{\lambda'\rho'}\cdot \vec{M}^*\, v^{\circ *}_{\lambda'} \tag{17}$$

Ținînd cont că :

$$\left.\begin{aligned} \sum_{m_e} u^\circ_{\rho'}\, v^{\circ *}_\rho &= \Lambda^{(e)}_{\rho'\rho} \\ \sum_{m_\nu} v^\circ_\lambda\, v^{\circ *}_{\lambda'} &= \Lambda^{(\nu)}_{\lambda\lambda'} \end{aligned}\right\} \tag{18}$$

**) În continuare, toate constantele, nesemnificative, le vom include în constanta de proporționalitate A.

sînt matricile de proiecție pentru electron și neutrin și înlocuind (17) în (16) obținem :

$$w = A' \sum_{m, m_1} \sum_{\eta' \lambda} \sum_{\rho_1' \lambda'} \int d\vec{q}_0 \, \Lambda^{(e)}_{\rho' \rho} (\vec{t} \cdot \vec{M})_{\rho \lambda} \Lambda^{(\nu)}_{\lambda \lambda'} (\vec{t}^{+} \cdot \vec{M}^*)_{\lambda' \rho'} =$$
$$= A' \sum_{m, m_1} \int d q_0 \, Sp \, (\Lambda^{(e)} \vec{t} \cdot \vec{M} \Lambda^{(\nu)} \vec{t}^{+} \cdot \vec{M}^*) \tag{19}$$

În mecanica cuantică relativistă se dă forma concretă a operatorilor de proiecție (18) :

$$\left.\begin{aligned} \Lambda^{(e)} &= \frac{1}{2}\left(1 + \frac{\vec{\alpha} \cdot \vec{p} + \gamma_4}{E}\right) \\ \Lambda^{(\nu)} &= \frac{1}{2}(1 + \vec{\alpha} \cdot \vec{q}_0) \end{aligned}\right\} \quad \text{unde } \vec{\alpha} = -\vec{\sigma}\gamma_5 \tag{20}$$

Ținînd cont de forma acestor operatori și de expresia lui t după efectuarea integrării obținem :

$$w = A'' \sum_{m, m_1} Sp\left[\left(1 + \frac{\vec{\alpha} \cdot \vec{p} + \gamma_4}{E}\right)(\vec{\sigma} \cdot \vec{M})(\vec{\sigma} \cdot \vec{M})(1 + \varepsilon\gamma_5)^2\right]. \tag{21}$$

Ținînd cont că : $(1 + \varepsilon\gamma_5) = (1 + \varepsilon^2)(1 + f\gamma_5)$ unde $f = \dfrac{2\varepsilon}{1 + \varepsilon^2}$, de relația : $(\sigma \cdot A)(\sigma \cdot B) = (A \cdot B) + \imath \cdot \sigma (A \times B)$ pentru $A = M$ și $B = M^*$ și de proprietățile de șpur ale matricilor Dirac obținem în final :

$$w = A^{III} \sum_{m, m_1} \left[(\vec{M} \cdot \vec{M}^*) - i\frac{f}{E}\vec{p} \cdot (\vec{M} \times \vec{M}^*)\right] \tag{22}$$

Primul termen din această formulă corespunde conservării parității iar cel de-al doilea, proporțional cu f, neconservării parității. Considerînd că paritatea s-ar conserva, am avea $\varepsilon = 0$, deci $f = 0$ și prin urmare al doilea termen ar dispare. Prezența acestui termen, ca o consecință directă a neconservării parității, arată existența unei anizotropii în emisia electronilor. Anizotropia se exprimă în raport cu direcția medie a vectorului $(\vec{M} \times \vec{M}^*)$, prin intermediul unui cos θ, θ fiind unghiul dintre $\vec{p}$ și vectorul mediu $(\vec{M} \times \vec{M}^*)$. În direcție perpendiculară pe acest vector nu apare contribuție din partea termenului de neconservarea parității. O astfel de contribuție apare numai în cazul $\theta \neq \dfrac{\pi}{2}$ și $\dfrac{3\pi}{2}$. Contribuție maximă sau minimă apare din acest termen cînd $\theta = 0$ sau π în funcție de semnul valorii medii a vectorului

Un astfel de rezultat i-a făcut pe Lee și Yang să imgineze metoda prin care neconservarea parității ar putea fi verificată experimental. După cum am mai amintit experiențele făcute de către profesoara, Wu, au fost încununate de succes.

4. Încheiere.

Pentru a evalua cantitativ produsele $(\vec{M} \cdot \vec{M}^*)$ și $(\vec{M} \times \vec{M}^*)$ care apar în expresia noastră finală, unde $\vec{M}$ este dat prin (14) se poate proceda în felul următor : făcînd uz de teoria coeficienților Clebsch-Gordan și Racah, de teorema Wigner — Ekart pentru tensorii ireductibili și de noțiunea de tensor statistic de tip Fano, se poate reduce întreaga problemă la calculul unor așa-numite elemente de matrice reduse". Mai departe, calculul acestora se poate face numai adoptînd pentru nucleele studiate un anumit model nuclear. Calculele de acestă natură depășesc nivelul revistei ; menționăm că noi am intenționat să dăm doar o tratare calitativă a acestei consecințe a neconservării parității spațiale la interacțiuni slabe, problemă atît de mult discutată și totuși mereu actuală.

BIBLIOGRAFIE

[1] *M. E. Rose* : Lectures in theoretical physics Tom. 2 pag. 4 — 142, New York (1961).
[2] *M. E. Rose*; Relativistic electron theory, pag. 105 — 113, New-York, London (1961).
[3] *L. B. Okuni*; Slaboe vzaimodeistvie elementarnih ciastiț; pag. 7—47, Moscova (1963).
[4] *T. D. Lee, C. N. Yang* : Phys. Rev. *104*, 254, (1956).
[5] *C. S. Wu* și alții; Phys. Rev. *105*, 1413, (1957).
[6] *L. D. Landau*, J. E. T. F., *32*, 405 ; 407, (1957).
[7] *A. Salam* : Nuovo Cimento, *5*, 229, (1957).
[8] *T. D. Lee* : C. N. Yang., Phys., Rev. *105*, 1671, (1957).
[9] *L. D. Landau* : Nucl. Phys. *3*, 127, (1957)
[10] *R. P. Feynman*; M. Gell-Mann, Phys., Rev. *109*, 193, (1957).
[11] *E. C. G Sudarshan*; R. E. Marshak , Phys. Rev. *109*, 1860, (1958).

METODE DE DETERMINARE A TIMPULUI DE VIAȚĂ A PURTĂTORILOR DE SARCINĂ IN SEMICONDUCTORI (II)

V. Dr. DOLOCAN
Universitatea București, Facultatea de Fizică

Într-o lucrare anterioară am văzut că timpul de viață caracterizează procesele de neechilibru în semiconductori [1] . Pentru a determina timpul de viață a purtătorilor de sarcină e necesar să studiem fenomenele legate de procesele de neechilibru și să măsurăm mărimile care caracterizează aceste fenomene, mărimi în care intervine timpul de viață.

Timpul de viață se poate determina din măsurători de fotoconducție, efect fotoelectromagnetic, prin metoda Valdes.

În joncțiuni p-n timpul de viață se determină din măsurarea capacității și rezistenței diferențiale a joncțiunii. Vom studia pe rînd aceste metode.

Fotoconducția

Fotoconducția constă în variația conductibilității semiconductorului la iluminarea acestuia. Energia fotonilor trebuie să fie egală sau mai mare decît energia de ionizare a impurităților (fotoconducția de impurități) sau

decît lărgimea zonei interzise a semiconductorului (fotoconducția intrinsecă), pentru a apare fenomenul de fotoconducție.

Dacă notăm cu n, p și μ_n, μ_p, concentrațiile și mobilitățile electronilor și, respectiv, găurilor, conductibilitatea σ a unui semiconductor este dată de expresia

$$\sigma = e(n\mu_n + p\mu_p) \tag{1}$$

Fotoconductibilitatea, $\Delta\sigma$, se scrie [2]

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_c + \Delta\sigma_{\mu(T_e} + \Delta\sigma_{\mu(i)} \tag{2}$$

În relația (2), $\Delta\sigma_c$ este variația conductibilității datorită variației concentrației purtătorilor (fotoconducția de concentrație), $\Delta\sigma_{\mu(T_e)}$ este variația σ datorită variației mobilității purtătorilor în cazul cînd aceștia devin fierbinți, adică capătă o energie foarte mare ca rezultat al absorbției luminii pe purtători liberi și temperatura lor depășește temperatura rețelei; $\Delta\sigma_{\mu(i)}$ este variația mobilității condiționată de variația concentrației centrelor de împrăștiere într-o anumită stare de sarcină datorită capturii de electroni pe ele. În mod obișnuit iluminarea semiconductorului duce la creșterea conductibilității acestuia. Se poate întîmpla însă ca conductibilitatea să scadă prin iluminare adică să avem fenomenul de fotoconducție negativă, ceea ce se întîlnește mai rar [2].

În cele ce urmează ne vom ocupa de fotoconducția de concentrație $\Delta\sigma_c$ pe care o vom nota de acuma înainte cu $\Delta\sigma$, care constă în creșterea conductibilității semiconductorului datorită creșterii concentrației purtătorilor liberi prin iluminare

$$\Delta\sigma = e(\mu_n Dn + \mu_p \Delta p) \tag{3}$$

iar conductibilitatea totală a semiconductorului este

$$\sigma = \sigma_0 + \Delta\sigma \tag{4}$$

unde σ_0 este conductibilitatea semiconductorului la întuneric. Se observă din (3) că pentru studiul variației în timp a $\Delta\sigma$ este suficient să studiem variația în timp a concentrației purtătorilor de neechilibru Δn, Δp. Rata de generare a purtătorilor prin iluminare este egală cu produsul dintre intensitatea luminii I (numărul de fotoni care cad pe cm^2 și pe secundă), coeficientul de absorbție a luminii α și randamentul cuantic η (numărul de perechi electron-gaură create prin absorbția unui foton): $g = \alpha\eta I$.

Variația în timp a concentrației purtătorilor de neechilibru este egală cu diferența dintre rata de generare g și rata de recombinare U_r

$$\frac{d(\Delta n)}{dt} = g - Ur \tag{5}$$

în cazul cînd concentrația unui tip de purtători (de exemplu a găurilor) este suficient de mare astfel încît ea nu variază prin iluminare, rata de recombinare va fi direct proporțională cu concentrația purtătorilor de neechilibru Δn (cap. I)

$$U_r = \frac{\Delta n}{\tau} \tag{6}$$

În acest caz recombinarea se numește liniară.

Rata de recombinare poate fi proporțională cu pătratul concentrației purtătorilor de neechilibru (recombinarea pătratică) atunci cînd concentrația purtătorilor de echilibru este egală cu zero și $\Delta n = \Delta p$,

$$U_r = \gamma (\Delta n)^2 \tag{7}$$

În cazul recombinării ec. (5) se scrie

$$\frac{d(\Delta n)}{dt} = \alpha \eta I - \frac{\Delta n}{\tau} \tag{8}$$

care are soluția

$$\Delta n = \alpha \eta I \tau (1 - e^{-t/\tau}) \tag{9}$$

cînd iluminarea începe la $5t = 0$, cînd $d\Delta n = 0$
Pentru $t \to \infty$, Δn atinge valoarea staționară

$$(\Delta n)_{st} = \alpha \eta I \tau \tag{10}$$

La încetarea iluminării, $I = 0$ și ec. (8) devine

$$\frac{d(\Delta n)}{dt} = -\frac{\Delta n}{\tau} \tag{11}$$

cu soluția

$$\Delta n = \alpha \eta I \tau e^{-t/\tau} \tag{12}$$

Se observă că curba de relaxare a fotoconducției atît pe porțiunea de creștere (9) cît și pe porțiunea de scădere (12) are un caracter exponențial (fig. 1). Pentru a obține o asemenea curbă trebuie să modulăm lumina cu o frecvență astfel încît lungimea impulsului luminos și distanța dintre două impulsuri să fie mult mai mari decît timpul de viață a purtătorilor, adică trebuie ca fotoconducția să atingă valoarea staționară în timpul acțiunii unui impuls luminos și să devină zero în timpul dintre două impulsuri. Curba din fig. 1 se poate vizualiza pe ecranul unui oscilograf, se poate fotografia și din studiul ei se poate determina τ în felul următor. Pentru $t = \tau$, $\frac{\Delta r}{(\Delta n)_{st}} = 1 - \frac{1}{e}$ pe porțiunea de creștere și scade cu $\frac{1}{e}$ pe porțiunea de scădere. Așadar se ia pe porțiunea de creștere sau pe porțiunea de scădere punctul de ordonată $1 - 1/e$ și abscisa corespunzătoare va fi chiar mărimea lui τ. Sau se duc tangentele la $t = 0$ și în punctul de început a scăderii; ele intersectează dreapta $\frac{\Delta n}{(\Delta n)_{st}} = 1$ și respectiv dreapta $\Delta n = 0$ chiar la valoarea τ.

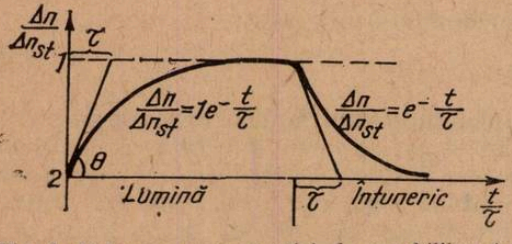


Fig. 1. Relaxarea concentrației de neechilibru în cazul recombinării liniare

În cazul recombinării patratice ec. (8) are forma

$$\frac{d(\Delta n)}{dt} = \alpha \eta I - \gamma (\Delta n)^2 \tag{13}$$

cu soluția

$$\Delta n = \sqrt{\frac{\alpha\eta I}{\gamma}}\, t\, h\, t \sqrt{\gamma\alpha\eta I} \tag{14}$$

iar la stingerea luminii

$$\frac{d(\Delta n)}{dt} = -\gamma(\Delta n)^2 \tag{15}$$

cu soluția

$$\Delta n = \sqrt{\frac{\alpha\eta I}{\gamma}} \frac{1}{t\sqrt{\gamma\alpha\eta I} + 1} \tag{16}$$

Se vede că nu există simetrie între porțiunea de creștere (14) și porțiunea de scădere (16) a curbei de relaxare a fotoconducției (fig. 2) ca în cazul recombinării liniare (fig. 1). Timpul de viață mediu nu mai este constant ci depinde de intensitatea luminii și de timp prin independența de aceste mărimi a concentrației găurilor din banda de valență :

$$\tau = \frac{1}{\gamma \Delta p} \tag{17}$$

La recombinarea liniară, în stare staționară $\left(\frac{d(\Delta n)}{dt} = 0\right)$ se vede din (8) că

$$(\Delta n)_{st} \sim I \tag{18}$$

pe cînd la recombinarea pătratică în cazul staționar ($t \to \infty$) rezultă din (14)

$$(\Delta n) \sim \sqrt{I} \tag{19}$$

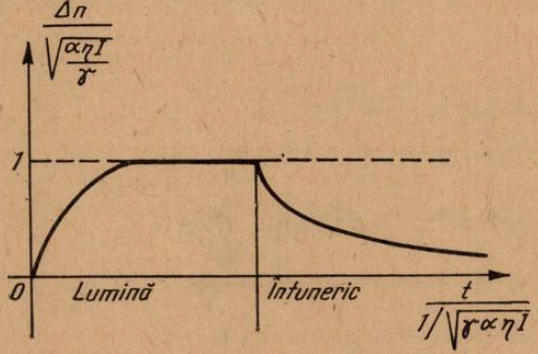


Fig. 2. Relaxarea concentrației de neechilibru în cazul recombinării pătratice

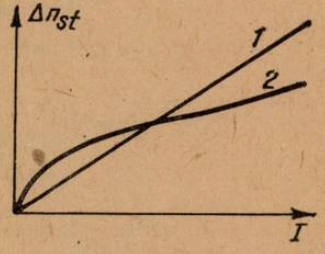


Fig. 3. Dependența concentrației de neechilibru staționare de intensitatea luminii; I) cazul recombinării liniare, 2)cazul recombinării pătratice

Dependența de intensitatea luminii a concentrației purtătorilor de neechilibru se vede pe fig. 3.

Determinarea lui τ se poate face din studiul cineticii fotoconducției sau din măsurarea fotoconducției staționare.

În afară de metoda descrisă mai sus, mai există două metode de determinare a timpului de viață din studiul cineticii fotoconducției:

a) metoda dependenței de frecvența, legată de dependența amplitudinii fotoconducției de frecvență de modulare a luminii.

b) metoda compensației diferenței de fază între semnalul luminos și semnalul fotoconductiv.

a) Determinarea τ din dependența de frecvență a fotoconducției. Impulsurile de lumină pot fi dreptunghiulare, sinusoidale, etc. Impulsurile dreptunghiulare se realizează de exemplu prin folosirea ca obturator a unui disc cu găuri dreptunghiulare (fig. 4a), iar impulsurile sinusoidale prin folosirea unui disc cu găuri circulare (fig. 4b). Discul este acționat de un motor, de regulă de frecvență variabilă. De frecvența motorului, diametrul găurii și distanța din tre găuri depinde lungimea impulsului luminos și distanța dintre două impulsuri. Componenta variabilă a fotoconducției va depinde atît de frecvența de modulare a luminii cît și de felul modulării (dreptunghiulară, sinosoidală). În cazul modulării dreptunghiulare a luminii cînd lungimea impulsului luminos și distanța dintre două impulsuri sînt mult mai mari decît timpul de viață, curba de relaxare a fotoconducției arată ca în fig. 1 și τ se determină așa cum s-a arătat la începutul acestui capitol. Dacă lungimea impulsului și distanța dintre două impulsuri sînt mai mici decît timpul de viață, atunci curba de relaxare a fotoconducției va arăta ca în fig. 5 [3] . Dacă iluminarea va începe la

Fig. 4, a) disc cu găuri dreptunghiulare, *b*) disc cu găuri circulare

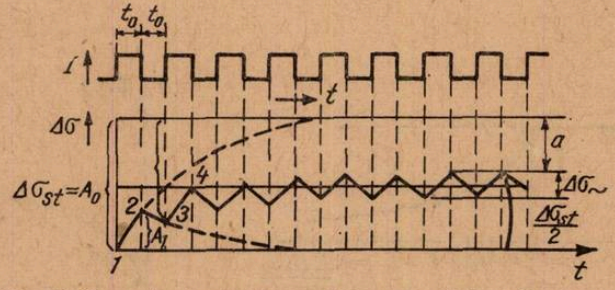


Fig. 5. Dependența de timp a fotoconducției pentru $t_0 < \tau$

$t = 0$, fotoconducția va crește cît timp durează lungimea impulsului luminos, t_0, după legea

$$\Delta\sigma = A_0(1 - e^{-t/\tau}) \tag{20}$$

însă fără să atingă saturația ci pînă în punctul 2, deoarece $t_0 < \tau$. Din punctul 2, la întuneric, fotoconducția va scădea după legea

$$\Delta\tau = A_1 e^{-t/\tau} \tag{21}$$

pînă în punctul 3 care se va afla mai sus de punctul I deoarece $A_1 < A_0$ şi deci nu va atinge valoarea zero întrucît scăderea (2—3) va fi mai mică decît creşterea (1—2). Ne situăm în cazul cînd distanţa dintre două impulsuri este egală cu lungimea impulsului, t_0, şi $t_0 < \tau$. Din punctul 3, cînd proba este iarăşi iluminată (al doilea impuls luminos), curba va creşte după legea

$$\Delta\sigma = A_2(1 - e^{-t/\tau}) \tag{22}$$

însă creşterea va dura pînă în punctul 4 care va fi mai sus decît punctul 2 deoarece $A_2 > A_1$. Şi aşa mai departe pînă cînd, după un timp suficient de lung, punctele superior şi inferior între care variază $\Delta\sigma$ sînt simetrice faţă de poziţia de echilibru. În această situaţie fotoconducţia constă dintr-o componentă continuă $\Delta\sigma = \frac{(\Delta\sigma)_{st}}{2}$ şi o componentă variabilă care se notează cu $\Delta\sigma_{\sim}$. Calculul $\Delta\sigma_{\sim}$ se face astfel (vezi fig. 5)

$$\Delta\sigma_{\sim} = A_0 - 2a \tag{23}$$

$$a = (A_0 - a)\, e^{-t_0/\tau} \tag{24}$$

de unde

$$a = A_0 \frac{e^{-t_0/\tau}}{1+e^{-t_0/\tau}} \tag{25}$$

Înlocuind (25) în (23) obţinem

$$\Delta\sigma_{\sim} = A_0 \frac{1 - e^{-t_0/\tau}}{1 + e^{-t_0/\tau}} = A_0 \operatorname{th} \frac{t_0}{2\sigma} = (\Delta\sigma)_{st}\, th \frac{t_0}{2\tau} \tag{26}$$

Pentru determinarea τ se măsoară experimental $\Delta\sigma_{\sim}$ pentru diferite lungimi ale impulsului luminos (variind frecvenţa de rotire a discului obturator) şi se trasează graficul $\frac{\Delta\sigma}{(\Delta\sigma)_{st}} = f(t_0/\tau)$ (fig. 6). Tangenta la curbă în punctul $t = 0$ va intersecta dreapta paralelă cu axa timpului dusă prin punctul de ordonată $\frac{\Delta\sigma_{\sim}}{(\Delta\sigma)_{st}} = 1$, în punctul $\frac{t_0}{\tau} = 2$, de unde se calculează τ. Aceasta deoarece pentru $t_0 < < \tau$ (37) devine $\sigma\Delta\sim = (\Delta\sigma)_{st}\frac{t_0}{2\tau}$.

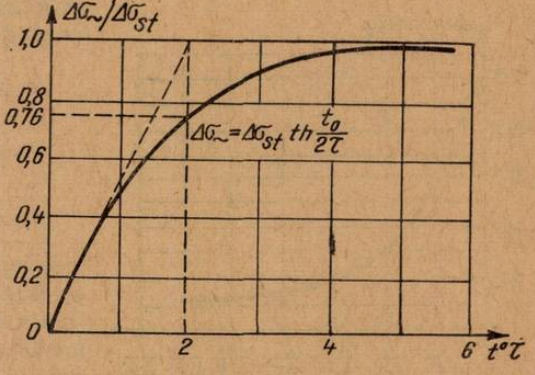


Fig. 6. Dependenţa amplitudinii componentei variabile a fotoconducţiei de lungimea impulsului luminos dreptunghiular

Sau se duce o paralelă la axa timpului la ordonata 0,76 (th I = 0,76) şi punctului unde aceasta intersectează curba il corespunde abscisa $\frac{t_0}{\tau} = 2$, de unde de asemenea se determină τ.

În cazul impulsurilor sinusoidale lucrurile stau asemănător, însă în acest caz rata de generare nu mai este constantă pe lungimea impulsului luminos ca în cazul impulsurilor dreptunghiulare unde $i = \text{const.}$ pe toată lungimea impulsului.

La impulsuri sinusoidale

$$g = a\eta I_0 (1 - \cos \omega t) \tag{27}$$

unde ω este pulsația ($\omega = 2\pi f$), $f =$ frecvența de rotație a discului. Deci g va avea o componentă constantă peste care se suprapune o componentă variabilă. Așadar în loc de (8) vom scrie [4]

$$\frac{d(\Delta n)}{dt} = \alpha\eta I_0 (1 - \cos \omega t) - \frac{\Delta n}{\tau} \tag{28}$$

cu soluția

$$\Delta n = \alpha\eta I_0 \tau \left[1 - \frac{2 + (\tau\omega)^2}{1 + (\tau\omega)^2} e^{-t/\tau}\right] + \frac{\alpha\eta I_0 \tau}{1 + (\tau\omega)^2} (\tau\omega \sin \omega t + \cos \omega t) \tag{29}$$

Primul termen din partea dreaptă a ec. (29) devine constant în regim staționar ($t \to \infty$), astfel ca dacă se măsoară în regim variabil, în măsurătorile noastre intervine numai al doilea termen, $\Delta n_\sim$, care poate fi scris

$$\Delta n_\sim = \frac{\alpha\eta I_0 \tau}{\sqrt{1 + (\tau\omega)^2}} \cos [\omega t - \text{arc tg } (\tau\omega)] \tag{30}$$

Se observă că apare o diferență de fază, φ, între componenta variabilă a luminii $I_0 \cos \omega t$ și componenta variabilă a fotoconducției $\sim \Delta n_\sim$

$$\varphi = \text{arc tg } (\tau\omega) \tag{31}$$

Pentru a afla τ în acest caz se măsoară $\Delta\sigma_\sim$ funcție de frecvența de modulare a luminii și se trasează graficul $\Delta\sigma_\sim = f(f\tau)$ (fig. 7), pentru valoarea maximă a lui $\Delta\sigma_\sim$ care ținînd cont de (41) este

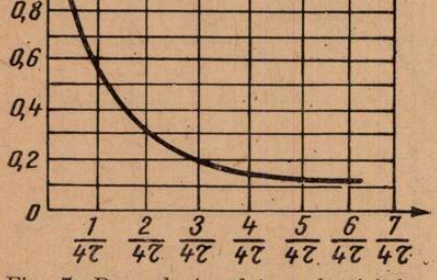


Fig. 7. Dependența fotoconducției de frecvență de modulare a luminii în cazul impulsurilor sinusoidale

$$\Delta\sigma_\sim = (\Delta\sigma)_{st} \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi f\tau)^2}} \tag{32}$$

Pentru $2\pi f\tau = 1$ rezultă $\frac{\Delta\sigma_\sim}{(\Delta\sigma)_{st}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0{,}71$. Deci pentru determinarea τ se ia pe ordonată (fig. 7) înălțimea 0,71 se duce prin acest punct o paralelă la axa frecvențelor și din punctul unde aceasta intersectează curba se duce o perpendiculară pe axa lui f care o intersectează în punctul $f = \frac{1}{2\pi\tau}$ de unde cunoscînd f se determină τ.

b). Determinarea τ prin metoda compensației diferenței de fază.

Între semnalul luminos de excitare și semnalul de fotoconducție există o diferență de fază care este legată, evident, de existența relaxării fotoconducției, adică de faptul că fotoconducția nu atinge valoarea

staţionară imediat ce iluminăm proba şi nu dispare imediat la încetarea iluminării. Acest fapt se datorează proceselor de recombinare şi deci diferenţa de fază apare indiferent de forma semnalului de excitare. Am văzut că în cazul semnalului sinusoidal ea are forma (42). Dacă măsurăm φ pentru o frecvenţă dată, din această relaţie (42) putem determina τ. Măsurarea φ se face cel mai simplu prin metoda compensaţiei diferenţei de fază. Pentru acesta ne trebuie în afară de receptorul semiconductor, un receptor neinerţial adică un dispozitiv în care efectul iluminării să atingă imediat valoarea sa staţionară, fără să existe procese de relaxare, de exemplu un fotoelement. Diferenţa de fază dintre semnalul de excitare (iluminare) şi fotoconducţie va fi egală chiar cu diferenţa de fază dintre curentul de saturaţie a fotoelementului şi cel de fotoconducţie. Schema instalaţiei de măsură se vede pe fig. 8. Semnalul luminos de la sursa S, modulat cu ajutorul unui disc cu găuri acţionat de un motor (M) şi focalizat cu ajutorul unui sistem de lentile L_1, L_2, cade pe o oglindă semitransparentă (0). O oglindă semitransparentă are proprietatea că lasă să treacă prin ea o fracţiune însemnată din intensitatea cîmpului luminos şi reflectă restul. În montajul nostru (fig. 8) lumina transmisă cade pe proba semiconductoare *p* şi lumina reflectată cade pe fotoelementul FE. În circuitul fotoelementului este introdus un schimbător de fază, un circuit RC cu capacitatea C variabilă. Semnalul de fotoconducţie cules de pe rezistenţa R se aplică de exemplu pe plăcile verticale ale osciloscopului, iar semnalul de la fotoelement, cules de pe rezistenţa R, se aplică pe plăcile orizontale.

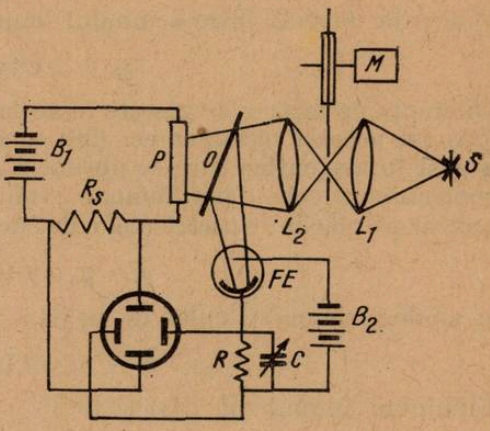


Fig. 8. Schema instalaţiei de determinare a τ prin metoda compensaţiei diferenţei de fază

Dacă notăm cu dQ variaţia sarcinii pe condensatorul C şi cu i_c curentul de încărcare a condensatorului, variaţia tesiunii pe circuitul Qc este

$$dv = \frac{dQ}{c} = \frac{i_c\, dt}{c} \tag{33}$$

Curentul i_c care trece prin rezistenţa R este $\frac{v}{R}$. Curentul de saturaţie al fotoelementului, i, în cazul semnalului sinusoidal este dat de expresia

$$i = i_0 (1 - \cos \omega t, \tag{34}$$

Avînd în vedere că $i_c = i - i_R$, ţinînd cont de (33), avem

$$\frac{dv}{dt} = \frac{i_0}{c}(1 - \cos \omega t) - \frac{v}{RC} \tag{35}$$

Variația tensiunii pe rezistența R_s are aceeași formă cu variația lui Δn dat de ec. (28). Diferența de fază între semnalul luminos și tensiunea pe R_s este dată de (31):

$$\varphi_1 = \text{arc tg}\,(\tau\omega) \tag{36}$$

Diferența de fază între semnalul luminos și tensiunea pe R este

$$\varphi_2 = \text{arc tg}\,(RC\,\omega) \tag{37}$$

Diferența de fază φ_2 se găsește în același mod cu φ_1 avînd în vedere că ec. (35) are aceeași formă cu ec. (28) unde în loc de τ intervine RC Pentru a găsi forma curbei care se obține pe ecranul oscilografului cînd aplicăm concomitent cele două semnale vom nota pentru simplitate semnalul aplicat pe plăcile verticale (cel culeș de pe R_s) ținînd cont de (30)

$$y = y_0 \cos(\omega t - \varphi_1) \tag{38}$$

și analog, semnalul culeș de pe R,

$$x = x_0 \cos(\omega t - \varphi_2) \tag{39}$$

Eliminînd timpul din (38) și (39)

$$\frac{x^2}{x_0^2} + \frac{y^2}{y_0^2} - \frac{2xy}{x_0 y_0}\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1) \tag{40}$$

obținem o elipsă. Deci pe plăcile oscilografului ne va apare o elipsă. Elipsa degenerează într-o dreaptă

$$\frac{x}{x_0} = \frac{y}{y_0} \tag{41}$$

cînd $\varphi_1 = \varphi_2$.

Așadar variem capacitatea pînă cînd pe ecranul oscilografului apare în locul elipsei o dreaptă. În acest moment $\tau = RC$, de unde cunoscînd R și C aflăm pe τ. Pentru o diferență dată între τ și RC, această metodă este cu atît mai sensibilă cu cît raportul dintre axa mică, a, și axa mare b, a elipsei (fig. 9) este mai mare. Sensibilitatea este caracterizată de $\varepsilon = \frac{a}{b}$ și avînd în vedere (41)

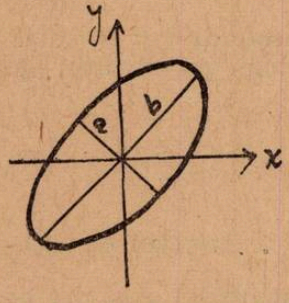


Fig. 9. Elipsa pentru $RC \neq \tau$

$$\varepsilon = \frac{x_0}{y_0}\,\text{tg}\,\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} \tag{42}$$

Se observă că sensibilitatea depinde de frecvență. Pentru o diferență dată între τ și RC există o frecvență pentru care ε atinge valoarea maximă. Pe fig. 10 este trasat graficul $\varepsilon = f\left(\frac{3\tau}{4T}\right)$ unde T este perioada modulării, pentru cazul cînd $\tau = 2RC$ și $x_0 = y_0$. Sensibilitatea este maximă la o pulsație $\omega = \frac{2{,}12}{\tau + RC}$ Faptul că ε are un maxim la o frecvență dată în

cazul modulării sinusoidale, ne dă posibilitatea să folosim în măsurători un amplificator de bandă îngustă (selectiv) atunci cînd avem nevoie ca semnalul să fie amplificat. Această metodă se foloseşte şi cu impulsuri de lumină dreptunghiulare în care caz ne putem da mai bine seama dacă

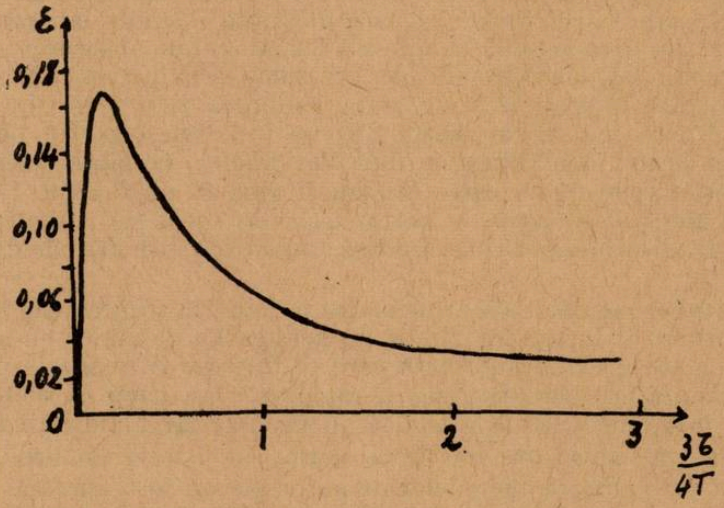


Fig. 10. Dependenţa lui ε de perioada de modulare a luminii în cazul impulsurilor si- nusoidale

recombinarea este liniară (fig. 1) sau pătratică (fig. 2) după analiza curbelor de relaxare vizualizate pe ecranul oscilografului. Însă cînd folosim impulsuri dreptunghiulare în general nu există un maxim al lui ε la o frecvenţă dată decît în cazul cînd există o legătură strînsă între lungimea şi frontul impulsului luminos.

BIBLIOGRAFIE

1. V. Dr. *Dolocan*, Rev. Fizică-Chimie seria A.
2. *Л. Г Парицкий, С. М. Роевкин* ,Ф. Т. П, 718 (1967).
3. *С.М. Роевкин* Фомоэтектрические явления в полупроводниках Москва, 1963.
4. *I. Runge, R. Sewig*, Zs. f. Phys. 62, 726 (1930).

CERCETĂRI RECENTE ÎN DOMENIUL SPECTROSCOPIEI DE ABSORBȚIE ATOMICĂ

MIHAI DELIBAȘ din Iași

Spectroscopia de absorbție atomică este una din cele mai moderne metode de analiză spectrochimică larg utilizată în multe laboratoare din străinătate. La baza acestei metode stă fenomenul de absorbție al luminii de către atomi, fenomen observat pentru prima dată în anul 1802 de către Wollaston, care a descoperit prezența anumitor linii negre în spectrul solar. Cu 15 ani mai tîrziu aceste linii au fost redescoperite de Fraunhofer și au primit denumirea de linii Fraunhofer. Originea acestor linii negre a fost explicată de către Kirchhoff abia în anul 1859. Ceva mai tîrziu Kirchhoff și Bunsen au arătat clar că spectrele atomice fie de emisie fie de absorbție pot constitui baza unei excelente metode de analiză chimică.

De atunci metodele spectrochimice de analiză prin emisie s-au dezvoltat continuu și în ultimii 25 de ani acestea au culminat cu aparatele spectrale cu înregistrare automată care se folosesc la analizele mai *multor* componente cu mare precizie și rapiditate. În timp ce metodele de emisie au fost bine puse la punct și au căpătat largi aplicații în multe domenii de activitate este un lucru curios în istoria analizei spectrochimice că posibilitățile metodelor de absorbție au fost aproape complet ignorate cu excepția folosirii lor în astrofizică la studiul atmosferelor solare și stelare. Neglijarea spectroscopiei prin absorbție atomică este total suprinzătoare dacă ne gîndim că ea a fost larg utilizată în lucrările de cercetare științifică în special la studiul structurii hiperfine a liniilor spectrale și la studiul radiației de rezonanță a atomilor. La această situație a contribuit în primul rînd dezvoltarea extraordinară a spectroscopiei de emisie care satisfăcea aproape complet cerințele analitice din laboratoare și căreia, datorită calităților ei, i se treceau cu vederea anumite limitări fundamentale. O altă cauză constă în aceea că superioritatea metodei de analiză prin absorbție față de metoda prin emisie, nu a fost explicată într-o asemenea măsură ca să stimuleze cercetările în domeniul analizei spectrale de absorbție atomică.

Abia în anul 1955 au apărut, independent, lucrările lui Walsh (Australia) și Alkemade și Milatz (Olanda) în care s-a arătat superioritatea esențială a metodei prin absorbție față de cea prin emisie. Dacă în lucrarea lui Alkemade și Milatz [1] s-a studiat în special problema selectivității măsurătorilor prin absorbție atomică, în lucrarea lui Walsh [2] s-au analizat toate problemele legate de dezvoltarea metodelor absolute de analiză spectrală. În spectroscopia atomică de emisie se folosește emisia apontană a radiației de la proba de analizat în timp ce analiza prin absorbție are la bază fenomenul de absorbție al luminii care este întotdeauna un proces forțat. Deci, din acest punct de vedere, la baza spectroscopiei de absorbție stă un fenomen invers fenomenului de emisie stimulată pe baza căruia s-au construit generatorii cuantici (LASER și MASER).

În metoda de emisie proba de analizat este atomizată și excitată practic simultan, radiația emisă trece printr-un aparat spectral și se mă-

soară intensităţile liniilor selectate. Neglijînd autoabsorbţia şi emisia indusă intensitatea integrală a liniei emise este dată de relaţia :

$$\int I_\nu \, d_\nu = C_1 N_j f \tag{1}$$

unde M_j este numărul de atomi emiţători din starea excitată corespunzătoare liniei emise considerate, f este tăria oscilatorului liniei (numărul mediu de electroni pe atom care pot fi excitaţi de radiaţia incidentă) iar C_1 este o constantă de proporţionalitate. Presupunînd că vaporii atomici sînt în echilibru termic la temperatura T, numărul de atomi în starea excitată j, cu energia de excitare E_j, este dat de relaţia

$$N_j = N_0 \frac{P_j}{P_0} e^{-\frac{E_j}{kT}} \tag{2}$$

unde N_0 este numărul de atomi din starea fundamentală şi P_j şi P_0 sînt respectiv, ponderile statistice a stării excitate şi fundamentale iar k este constanta lui Boltzmann.

Din relaţiile (1) şi (2) se vede clar că intensitatea emisă depinde de temperatură şi de energia de excitare. Calculul efectiv arată că la orice temperatură uşor realizabilă ($T \leqslant 5000°K$) numai o mică fracţie din atomi se află în stare excitată. Această fracţie $\frac{N_j}{N_0}$, la $T = 5000°K$, poate fi de ordinul 10^{-2} pentru metalele alcaline şi de ordinul 10^{-6} pentru metalele greu excitabile. Din această cauză este clar că fotometria de flacără deşi foarte sensibilă pentru metalele alcaline este nesatisfăcătoare pentru metalele greu excitabile. Chiar şi cele mai înalte temperaturi obţinute în arcul electric sau scînteie nu pot produce o emisie intensă a liniilor de rezonanţă a acestor elemente. Dacă se măsoară absorbţia luminii de către atomii aflaţi în starea fundamentală, puternic populată, dificultatea dispare şi trebuie să ne aşteptăm la acelaşi ordin de sensibilitate pentru toate metalele. O astfel de măsurare stă la baza tehnicii spectroscopiei atomice de absorbţie.

Să considerăm acum cazul absorbţiei unui fascicol monocromatic de raze paralele de intensitate $I_{0\nu}$ şi frecvenţă ν care cade pe un strat de gaz sau vapori de grosime l cm. Dacă I_ν este intensitatea fascicolului transmis coeficientul de absorbţie K_ν al vaporilor la frecvenţa ν este definit de relaţia :

$$I_\nu = I_{0\nu} \, e^{-L\nu l} \tag{3}$$

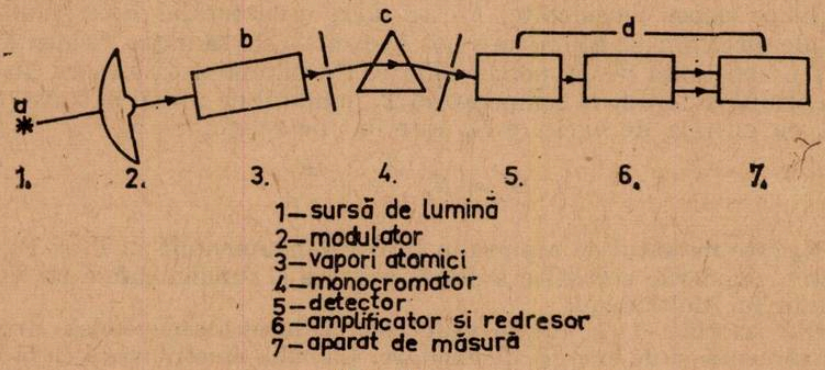
Dependenţa lui K_ν de ν, adică forma liniei de absorbţie, este determinată de natura tranziţiei implicată în absorbţie şi de condiţiile fizice ca temperatura , presiunea şi cîmpurile electrice la care sînt supuşi atomii în timpul măsurătorilor.

Conform cu teoria clasică a dispersiei, relaţia dintre absorbţia integrală şi concentraţie este :

$$\int_0^\infty K_\nu \, d_\nu = \frac{\pi e^2}{mc} N_\nu f \tag{4}$$

unde e este sarcina electronică, m masa electronică, c viteza luminii N numărul de atomi pe cm^3 care sînt capabili să absoarbă în domeniul ν şi $\nu + d\nu$. După cum am arătat la temperaturi $T \leqslant 5000°K$ numărul

atomilor excitați este neglijabil în comparație cu numărul atomilor neexcitați și astfel în ec. (4) N_v poate fi înlocuit cu N_0, numărul total de atomi pe cm^3. Astfel în timp ce numărul atomilor excitați variază exponențial cu temperatura, numărul atomilor din starea fundamentală rămîne practic constant și prin urmare coeficientul integral de absorbție



(fig. 1)

rămîne independent de condițiile experienței. În aceasta constă avantajul esențial al metodei de absorbție față de cea de emisie.

Principala dificultate care apare la măsurarea coeficientului integral de absorbție este legată de necesitatea fotometrării conturului unei linii de absorbție foarte înguste (0,01Å), operație care presupune utilizarea unui aparat spectral cu o putere de rezoluție de aproximativ 500.000, ori aceasta depășește performanța celor mai multe spectrografe și monocromatoare.

Metoda sugerată de Walsh este simplă și elimină necesitatea utilizării unui aparat cu mare putere de rezoluție. Această metodă constă în măsurarea directă a coeficientului de absorbție în centrul liniei. Pentru aceasta este necesar să iluminăm stratul absorbant de vapori cu un fascicol de lumină monocromatică de lungime de undă corespunzătoare centrului liniei de absorbție. Pentru realizarea unei asemenea scheme Walsh a propus în calitate de surse de lumină lămpi cu descărcări în gaze la joasă presiune, care permit să obținem liniile de rezonanță suficient de înguste ale elementului de determinat, iar pentru obținerea stratului absorbant de atomi, flacăra în care liniile de absorbție se lărgesc în special din cauza efectelor Doppler și Lorentz. Linia necesară pentru măsurători se separă din spectrul sursei cu ajutorul unui aparat spectral și intensitatea ei se înregistrează fotoelectric. Densitatea optică $D = \log \frac{I_{0\nu}}{I_\nu}$ este proporțională cu concentrația elementului de studiat, adus în stare de vapori atomici prin pulverizarea soluției acestui element într-o flacără (de exemplu o flacără de acetilenă și aer).

Din cele spuse pînă acum rezultă că un spectrofotometru de absorbție atomică se va compune din următoarele părți esențiale.

a) — sursa spectrală de linii înguste
b) — sistemul de atomizare și ardere
c) — aparatul spectral
d) — sistemul de detecție și înregistrarea radiațiilor.

La aplicarea acestei metode ne lovim totuşi de o dificultate experimentală. În multe cazuri pulverizare probei va duce la emisia de radiaţie avînd exact aceeaşi lungime de undă ca linia de emisie din spectrul sursei spectrale, aleasă ca linie analitică. Această dificultate poate fi înlăturată prin modularea radiaţiei incidente înaintea trecerii ei prin vaporii atomici şi apoi amplificînd semnalul de la un fotomultiplicator cu ajutorul unui amplificator acordat pe frecvenţa de modulare. Astfel radiaţia emisă de vaporii atomici, care nu este modulată, nu va produce semnal la ieşirea din amplificator. Pînă în prezent dificultatea principală rezidă în construcţia surselor de linii foarte înguste, stabile şi destul de intense. Deoarece pentru măsurătorile precise de absorbţie sursa trebuie să posede calităţile amintite nu este posibil să se folosească nici o descărcare electrică într-o atmosferă deschisă. În afara instabilităţii, aceste surse vor da linii prea largi şi vor prezenta desigur fenomenul de ranversare. Cele mai potrivite pentru acest scop s-au dovedit lămpile cu catod cilindric gol (Hollow cathode). O astfel de lampă — constă dintr-un anod şi un catod cilindric gol confecţionat din elementul pe care vrem să-l determinăm sau dintr-un aliaj care să cuprindă acest element. Electrozii sînt montaţi ermetic într-un tub de sticlă sau cuarţ umplut cu un gaz inert la o presiune mică (cîţiva mm Hg). În partea opusă catodului este lipit un geam de cuarţ pentru elementele care au liniile de rezonanţă în ultraviolet sau din sticlă pentru celelalte elemente. Alimentarea lămpii se face de la o sursă de tensiune stabilizată de 600 V şi max. 70 mA. Strălucirea descărcării din catod variază cu schimbarea presiunii gazului inert. Alegerea presiunii optime se face trasînd o caracteristică care dă dependenţa intensităţii emise de lampă I în funcţie de presiunea gazului inert. Această caracteristică are forma din figura 3. Lampa funcţionează într-un domeniu îngust de presiuni ale gazului inert, în afara acestui domeniu descărcarea se stinge. Pentru închiderea finală se alege presiunea ce corespunde maximului de intensitate al lămpii, cînd se obţine şi o caracteristică volt-amperică liniară.

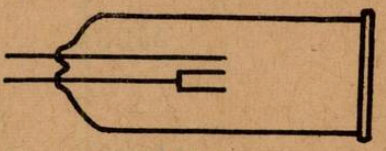


Fig. 2

Cînd lampa este conectată la sursa de alimentare bombardamentul ionilor de gaz inert produce smulgerea de atomi din catod care la rîndul lor fiind excitaţi prin ciocnirile cu electronii şi ionii din plasma descărcării emit un spectru de linii caracteristice materialului din care este confecţionat catodul precum şi liniile gazului inert din descărcare. O lampă se consideră bună pentru lucru cînd puritatea şi presunea gazului închis în ea asigură o emisie de lumină stabilă iar la un spectrograf dă un spectru de linii înguste fără benzi moleculare sau fond. Lămpi de acest gen destinate pentru măsurători prin absorbţie atomică am construit în Laboratorul de optică şi spectroscopie al Universităţii „Al. I. Cuza", din Iaşi. Aceste lămpi sînt umplute cu argon la presiuni în jur de 1 torr, aşa cum este arătat şi în fig. 3.

Am construit pînă în prezent lămpi cu catozi din Aluminiu, Cupru, Fier, Magneziu, Zinc şi Nichel. Am constatat cu această ocazie că în

articolele de specialitate din străinătate dificultăţile întîmpinate la construirea acestor surse sînt exagerate acestea convenind, bineînţeles, firmelor exportatoare care menţin foarte ridicat preţul acestor surse. Prin-

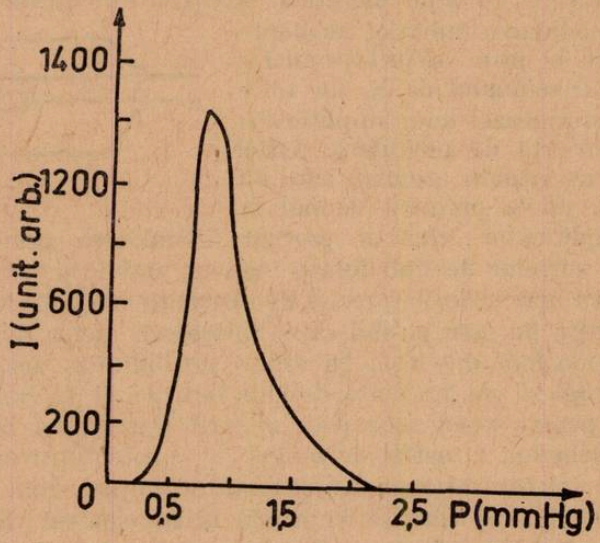


Fig. 3

cipalele cerinţe pentru construirea unor surse de performanţă sînt următoarele :

— o instalaţie de vid bună (10^{-5}—10^{-6} torr)
— curăţirea perfectă a părţilor componente ale sursei
— puritatea gazului inert
— prelucrarea termică corespunzătoare a electrozilor

În prezent în laboratorul nostru se fac cercetări pentru perfecţionarea acestui gen de surse spectrale în vederea unor analize spectrochimice prin metoda spectroscopiei atomice de absorbţie.

Catedra de optică şi spectroscopie Univ. „A. I. Cuza" Iaşi

BIBLIOGRAFIE

1. *Alkemade C. T. J., Milatz J. M. M.*, J. Opt. Soc. Am., 45, 583 (1955).
2. *Walsh A.*, Spectrochim Acta 7, 108 (1955).

CONSIDERAȚIUNI CU PRIVIRE LA STIMULATORI ȘI IERBICIDE, CU APLICAȚIE PRACTICĂ A 2,4 D LA SINAPIS ARVENSIS

M. PĂUNEȚ

1. *Complexitatea și actualitatea problemelor privitor la substanțele sintetice stimulatori și ierbicide.*

În efortul oamenilor de știință de a acționa asupra plantelor cultivate cît și asupra buruienilor cu ajutorul substanțelor sintetice cu efecte stimulatorii și ierbicide [1]), ultimele decenii ale secolului XX se vor înscrie cu siguranță în perioada de căutare, de formulare a unor întrebări și probleme și — după părerea noastră — în măsură neînsemnată, în perioada de rezolvare practică a întrebărilor și problemelor astfel formulate.

Desigur, dificultățile teoretice și practice sînt mari și nu pot fi expuse în articolul de față.

Printre dificultăți se numără — poate — și faptul că numai rareori, în una și aceeași persoană (sau colectiv), se îmbină armonios trăsăturile omului de știință, cercetătorului, cu vocația practicianului (avem în vedere aci nevoia de a efectua sinteze într-un domeniu de științe atît de variat; ne referim cel puțin la științe ca : citologia, biologia și fiziologia plantelor, chimia, științele de interferență ale acestora, biochimia, biofizica; științele privitoare la structura și natura solului, și atmosferei și — deloc de neglijat — ca elementul de aptitudine practică, de folosire cu succes, pentru prima dată a substanțelor sintetice.

La dificultăți — socotim — contribuie și caracterul, natura „duplicitară" a substanțelor chimice prin intermediul cărora acționăm : au efect de stimulare asupra plantelor cultivate și cu efect de vătămare, de dăunare asupra buruienilor, și în orice caz, cu efecte nedăunătoare, nevătămătoare asupra plantelor cultivate, asupra solului cît și asupra culturilor viitoare (se citează cazul unor ierbicide, care prin efectele lor multiple, au dat naștere la fenomene de intoxicare a bovinelor cu nitrați (și de alterare a laptelui), cu efecte asupra albinelor, asupra vinului etc.).

Pentru aceste motive, și pentru altele, concluziile la care s-a ajuns în cadrul cercetărilor moderne efectuate, privitor la aceste probleme, pînă în prezent, nu sînt deloc definitorii.

Pentru moment arătăm că pînă în prezent nu se cunosc, cu rigoarea științifică necesară toate legăturile cauzate ce au loc după tratamentul cu substanțe sintetice stimulatoare și ierbicide, respectiv, toate consecințele ce se produc din punct de vedere citologic și morfologic.

2. *Probleme constituind obiect de cercetare privind substanțele sintetice, orientări, rezultate.*

În acest cadru general sînt de menționat cercetările efectuate în Anglia, în S.U.A. și Germania, în Suedia și unele state socialiste în legă-

[1]) Sînt bine cunoscute substanțele organice, conținute în plantă care stimulează, favorizează creșterea, de exemplu auxina, heteroauxina, giberelina ș.a.

În prezentul articol, atunci cînd vorbim despre substanțe sintetice, cu efecte stimulatorii, ne referim la aceste substanțe, preparate chimic, care, datorită proprietății lor, *în anumită concentrație* — prin similitudine cu substanțele organice mai sus-menționate — , stimulează, favorizează creșterea plantelor, sau o opresc. Cercetările noi, moderne, caută substanța sintetică cea mai economică și avantajoasă : ușor de produs și manipulat, cu folosirea unei tehnologii cît mai simple, cu eficiența ridicată (indice defitotoxicitate mare). Este vorba de a găsi acea substanță sintetică cu efecte stimulatorii pentru plantele cultivate și în același timp cu efecte nocive : de vătămare, de distrugere împotriva buruienilor.

tură cu probleme ca : sensibilitatea plantelor cultivate față de substanțele sintetice ; gradul de reactivitate (selectivitate) în raport cu diversele substanțe sintetice, — ținînd seama și de concentrația lor — modul și momentul optim de acționare cu substanțe sintetice ; determinarea celor mai avantajoase substanțe sintetice de acționare ; mijloacele și tehnologia corespunzătoare, eficacitatea substanțelor sintetice și altele

Ca urmare a cercceărilor efectuate au fost puși în evidență diverși compuși ai acidului fenoxiacetic : 2,4 —*D* ; 2*M* —4*c* : 2, 4, 5 *T* ; noi grupe de ierbicide de mare perspectivă, de exemplu derivați ai triazinei (simazin și atrazin) substanțe de distrugere a unor buruieni din culturile prășitoare și legumicole : *I.F.K.* ; *I.E.K.H.* ; *T.C.A.* ; *D.C.U.* ; unele amine și esteri ai acizilor fenoxiacetici și altele.

În cadrul studierii comparative a substanțelor sintetice — unii autori citează ca peste 2.000 numărul acestora, deși s-a stabilit că numai un număr foarte mic se comportă ca stimulatori și ierbicide —, de cel mai mare interes se bucură 2,4 *D* cu 2 — *M* —4 *c* ; 2, 4, 5, *T*.

Se subliniază de numeroși cercetători că acțiunea lui 2,4 —*D*, sub formă de esteri, sau aminosăruri, are ca efect stimulator o creștere simțitoare a proteinelor în conținutul unor plante agricole ca de exemplu : grîu, porumb, sfeclă de zahăr, fasole, mazăre, pătlăgele roșii etc., rezultatele variind desigur în funcție de soiurile asupra cărora se acționează, de localitate, de zonă, grad de umiditate etc. (Taylor și Hamner au efectuat în acest sens următoarea experiență : cu ajutorul unei picături din soluția 2,4 *D* — de 0,1 %, aplicată la baza frunzei primare au obținut modificări chimice ale țesutului hipocotilului primului internod și pețiolul frunzei. Hidrații de carbon și conținutul de celuloză din țesuturi au scăzut în favoarea conținutului total de proteină, care aproape s-a dublat.

Nu putem să nu amintim aci faptul că au fost și opinii care au încercat să explice conținutul crescut de proteine prin scăderea greutății cerealelor asupra cărora s-a acționat cu 2,4 — *D*. Se produce, afirmativ o transformare a hidraților de carbon în proteine și grăsimi. Aceasta, deși experiențe numeroase au relevat că greutatea boabelor de cereale se menține constantă în timp ce conținutul de proteine a crescut [2]).

Acționîndu-se cu 2,4 —*D* și 2 *M* —4 — *c* asupra schimbului radicular la Sonchus, arvensis și Cirsium arvensis s-a obținut o creștere relativă a cantității de monozaharide, și în primul rînd, a fructozei.

De asemenea s-a constat sporirea cantității de zahăr în frunze, în cazul tratării cu 2,4 — *D* a unor pășuni (și ca urmare a distrugerii buruienilor o creștere în sol a NO_4 și PO_3^- în stratul superior).

În același timp a fost demonstrată o altă acțiune intimă a 2,4 —*D* ca ierbicid : efectul de oprire a formării enzimelor în unele plante cultivate (in) și buruieni.

3. — *Concepții privitor la modul de acționare a substanțelor sintetice.*

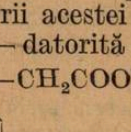
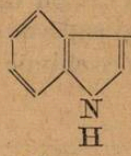
În principiu, acestea sînt direcțiile cercetărilor și rezultatele obținute privitor la substanțele sintetice.

Nu sînt însă de loc de neglijat concepțiile existente privitor la modul de acționare a substanțelor sintetice în general, și a, 4 — *D* în special.

---

[2]) Se știe că proteinele -substanțe chimice naturale cu structură macromoleculară — ce se găsesc în toate celulele vii, îndeplinesc funcții fundamentale : enzimatice, hormonale, imunologice etc.

Astfel, numeroşi cercetători (Selle, Luccke, Taylor, Sőding, Zoschke Martin şi alţii) sînt de părere că substanţele sintetice exercită o acţiune directă, nemijlocită asupra metabolismului plantelor cultivate, avînd o funcţie chimică bine determinată (reamintim experienţa lui Taylor şi Hamner, ce se numără printre susţinătorii acestei teorii).

În concepţia acestor cercetători — datorită structurii moleculare asemănătoare — substanţa 2,4 —*D*  la nivelul citoplasmei intră în concurenţă cu heteroauxina  pe care o dislocă din locurile ei de acţiune, sau o înlocuieşte în diverşi compuşi. Are loc astfel un proces de transformare a hidraţilor de carbon în proteine şi grăsimi.

Cercetări speciale asupra plantelor au relevat că proteina plantelor netratate conţine 43,7% mai mult acid asparagic, decît proteina plantelor tratate cu 2,4 —*D*.

În schimb, la plantele tratate s-a constat o creştere a altor aminoacizi (de exemplu valina cu 17,9% metioninp cu 41,5% feninalonina cu 17,4%).

Opus acestei concepţii, alţi cercetători, — desigur luînd în consideraţie propriile lor constatări — socotesc că sporirea conţinutului de proteină, după tratamentul cu 2,4 —*D* s-ar datora faptului că prin distrugerea buruienilor, cu ajutorul lui 2,4 — *D*[3] / plantele cultivate, în condiţiile în care azotul este limitat, ar dispune de o cantitate mai mare de azot, sporind astfel conţinutul de azot în boabe (în această concepţie este posibilă constatarea sporirii cantităţii de azot din boabe chiar în cazul în care stropitul cu 2,4 — *D* s-a efectuat într-un stadiu neprielnic desvoltării plantelor.

De asemenea este posibil, susţin alţi cercetători din această grupă ca „sporirea conţinutului de proteine să fie datorită unui consum sporit de hidraţi de carbon, ca urmare a respiraţiei sporite" (bineînţeles datorită îndeosebi dispariţiei burueinilor).

Desigur, ambele concepţii — prezentate schematic mai sus — din punctul lor de vedere şi a argumentelor învederate, apar judicioase.

Totuşi, trebuie menţionat — după părerea noastră că absolutizînd o singură latură a procesului, cu un singur aspect al problemei, „exagerînd" dintr-un punct de vedere, sau altul, contribuţia substanţelor sintetice, fiecare din cele două concepţii, greşeşte.

Astfel, nu s-ar putea susţine, sau nega cu succes de atît timp cît s-a dovedit că prin acţiunea de vătămare, de distrugere a buruienilor se asigură, sporirea procesului de respiraţie a plantelor (prin aceasta, acţiunea indirectă a substanţelor sintetice devine evidentă).

Din acest punct de vedere literatura de specialitate nu aduce aproape nimic nou.

---

[3]) Este ştiut că 2,4-*D* serveşte ca ierbicid selectiv în agricultură, fiindcă are proprietatea de a omorî dicotiledonatele (din care fac parte majoritatea buruienilor) fără a vătăma monocotiledonatelor- graminee, cereale —)

4. *Exemplificări în legătură cu modificările în structura chimică la sinapis arvensis, în urma tratamentului cu 2,4—D 1 kg/ha (probe luate la 30 zile de la tratament).*

Din punct de vedere morfologic buruienile după tratamentul cu erbicidele fenoxice 2,4 — *D* prezintă, în general, următoarele modificări a țesuturilor lor :

În ce privește partea aeriană tulpina se închircește, se îngroașe și se răsucește, manifestînd crăpături longitudinale ; frunzele se închircesc și se răsucesc, inflorescențele nemai-dezvoltîndu-se.

Partea subterană (rizon drajoni) manifestă umflături canceroase și crăpături logitudinale și aspecte de descompunere.

Din punct de vedere chimic constatările sînt concretizate în următorul tabel :

	Probe	N Total	N Solubil	N Proteic	Proteină brută	Na	Ca	K	P_2O_5
Vîrfuri de creștere tratate	101	2,86	1,04	1,82	10,92	0,32	4,29	1,89	0,96
Inflorescențe tratate	102	3,48	0,96	2,52	15,12	0,97	3,51	2,84	1,24
Semințe tratate	103	5.21	0,34	4,87	29,22	1,03	1,17	1,41	2,90
Formațiuni canceroase pe tulpina tratată	104	2,95	0,32	2,63	15,78	0,92	2,53	6,98	1,58
Tulpină cu crăpături longitudinale și rădăcini aeriene cu creșterea limitată	105	3,47	—	—	—	0,97	2,93	—	1,52
Frunze închircite și răsucite tratate	106	1,74	0,38	1,36	8,16	0,84	7,41	1,47	0,62
Rădăcini principale tratate	107	2,8	0,20	2,6	15,6	1,40	1,56	3,45	1,56
Rădăcini secundare cu pseudonodozități	108	2,94	0,13	2,81	16,86	—	—	3,61	1,88
Sămînță martor netratată	109	2,77	0,25	2,52	15,12	0,76	0,97	1,64	1,85
Tulpina martor	110	0,88	0.17	0,71	4,26	0,64	1,95	1,78	0,47
Frunză martor	111	2,09	0,38	1,71	10,26	0,59	5,07	2,95	0,59
Rădăcină principală martor	112	0,88	0,07	0,81	4,86	1,62	1,17	1,66	0,4
Rădăcini secundare martori	113	1,75	—	—	—	2,16	2,34	2,61	0,8

Calculat grame % substanță uscată.

Concluzii :

Analizele chimice efectuate conduc la concluzii interesante, privitor la structura chimică în cazul sinapis arvensis, și prin aceasta credem, interesează deosebit practica agricolă.

Astfel, acționarea cu erbicide fenoxice 2,4 — *D*, influențează în mod diferențiat metabolismul din punct de vedere fiziologic la nivelul diferitelor organe, interinfluențînd grupele de substanțe din care sînt compuse.

Dacă în ce privește raporturile dintre N O Na Ca K O_2O_5 pe organe de sinapis arvensis, situația de detaliu este după cum urmează :

La vîrfuri de creştere	N total creşte de 3 ori	Nu scade de 0,2 ori
	N solubil „ „ 6 ori	Ca creşte de 2 „
	N proteic „ „ 2,5 ori	K nu se modifică
	Protenia brută creşte de 2,5 ori	P_2I_5 creşte de 2 ori
Inflorescenţe	N total creşte de 4 ori	Na creşte de 0,5 ori
	N solubil „ „ 6 ori	Ca creşte de 1,7 „
	N proteic „ „ 3,5 ori	K creşte de 1,5 ori
	Proteina brută creşte de 3,5 ori	P_2O_5 creşte de 2,5 ori
Seminţe	N total creşte aproape de 2 ori	Na creşte de 1,3 ori
	N solubil „ de 1,4 ori	Ca nu se modifică
	N proteic „ aproape 2 ori	K scade puţin
	Proteina brută creşte de aproape 2 ori	P_2O_5 creşte de 1,5"
Tulpina cu funcţii canceroase	N total creşte de 3 ori	Na creşte de 1,4 ori
	N solubil „ „ 2 ori	Ca creşte de 1,2 ori
	N proteic „ de aproape 4 ori	K creşte de aproape 4 ori
	Proteină brută creşte de aproape 4 ori	P_2O_5 creşte de 3 ori
Tulpina cu crăcini	N total creşte de aproape 4 ori	Na creşte de 1,5 ori Ca creşte de 1,5 de 1,5 ori P_2O_5 creşte de 2 ori
Frunze răsucitexc şi închircite	N total scade de 0,8 ori	Na scade de 0,8 ori
	N total scade de 0,8 ori	Na scade de 0,8 ori
	N solubil nu se modifică	Ca creşte de 1,5 ori
	N proteic scade de 0,8 ori	K scade de 2 ori
	Proteina brută scade de de 0,8"	P_2I_5 nu se modifică

pe ansamblu se observă că :

— creşte îndeosebi conţinutul de azot la toate organele supuse analizei şi mai ales la inflorescenţe, tulpină şi vîrfuri de creştere, limitele oscilînd între 2,6%, cu excepţia frunzelor răsucite şi închircite.

— de asemenea o vizibilă creştere manifestă azotul, solubil mai ales la vîrfuri de creştere şi inflorescenţe în raport de azot total, proteic şi proteină brută.

— fosforul creşte, mai ales în tulpini (de 3 ori faţă de martor), în celelalte organe în măsură poderată (1,5 —2).

— Prezenţa sodiului este discretă : scade de 0,5 ori la vîrfuri de creştere şi de 0,8 ori la frunze răsucite, de 0,9 ori la rădăcini principale şi creşte de 1,5 ori, 1,3 ori, 1,4 ori în inflorescenţe seminţe şi tulpină.

— Calciu — sodiului — are oscilaţii mici : în ce priveşte creşterea (în general 1,5 ori şi numai în inflorescenţe această creştere este mai ridicată (2 ori).

— Potasiul creşte de 1,2 ori excepţie tulpinele cu funcţii canceroase în care creşterea este de 4 ori.

★

Desigur, cercetări ulterioare vor pune în lumină noi şi noi aspecte privitor la rolul şi contribuţia substanţelor sintetice, atît în ce priveşte „stimularea" plantelor cultivate, cît şi în ce priveşte distrugerea buruienilor.

Sîntem convinşi că, trecîndu-se peste „nedumeririle" în prezent existente, datorită atenţii reduse de care se bucură problema, se va stabili, ştiinţific contribuţia hotărîtoare, şi neechivocă, a substanţelor sintetice la obţinerea recoltelor bogate.

PAUNET MARIA
Bucureşti

DIN LUCRĂRILE CONSFĂTUIRII S.S.F.C. DE LA TG.-MUREŞ

MODEL ŞI MODELARE ÎN CHIMIE

Prof. *ISPIRESCU SERGIU* — Ploieşti

Motto: „... nimic nu cade mai uşor sub simţiri decît figura: căci o atingi şi o vezi" (Descartes — Reguli utile şi clare pentru îndrumarea minţii în cercetarea adevărului).

A *Model; modelare.*

Modelul „reprezintă realitatea simplificată (fără laturile neesenţiale), oferind un material mai accesibil investigaţiei teoretice sau experimentale"[1]), pe cînd modelarea sau modelizarea este „reproducerea schematică a unui obiect sau sistem sub forma unui sistem similar sau analog, efectuată în scopul studierii proprietăţilor şi transformărilor sistemului original").

Aceste două noţiuni, dar în special acţiunile conţinute în ele, sînt la ora actuală de mare utilitate şi utilizare, aceasta fiind o consecinţă a matematizării în aproape toate laturile ştiinţifice, dar şi „ca urmare a necesităţii resimţită tot mai viu de către oamenii de ştiinţă, de a-şi clarifica implicaţiile filozofice ale muncii lor").

B *Scurt istoric.*

O primă apreciere a importanţei atribuite modelelor în studierea şi înţelegerea fenomenelor o întîlnim la René Descartes (1596—1650), a cărui filozofie, oponentă acerbă scolasticei medievale, este considerată ca fundament al cerinţelor actuale ale dezvoltării ştiinţei moderne. „Este util... să desemnăm... şi să le înfăţişăm simţurilor externe, pentru ca, prin acest mijloc, gîndirea noastră să fie mai uşor ţinută atentă").

Prima încercare de modelare în chimie poate fi considerată ca aparţinînd lui Democrit, care reprezintă atomii ca avînd diferite forme, în funcţie de proprietăţile — constatate senzorial — pe care le au substanţele ce-i conţin. Desigur că aici folosirea cuvîntului model este un lucru mai

[1] Dicţionar enciclopedic roman — vol. III — pag. 392.

mult decît pretenţios, însă „modelele" lui Democrit anticipează o trăsătură actuală a cunoştinţelor ştiinţifice: matematizarea lor. „În felul acesta — scrie J. D. Bernal-Democrit a reuşit să-şi însuşească conţinutul matematic al concepţiei lui Pitagora, *în special importanţa formelor geometrice...*") (sublinierea mea — S.I.)

Calea spre un model chimic cu o fundamentare ştiinţifică a fost deschisă iniţial de Kekulé (1857), cînd a stabilit principiul tetravalenţei carbonului; de aici, spre elaborarea unei teorii a structurii se ajunge în 1861, meritul revenindu-i lui Butlerov. Formulele de structură pe care B. le prezintă, sînt formule plane, nu spaţiale; de aceea, toate modelele chimice care vor fi prezentate în această perioadă, vor reprezenta numai atomii (prin simboluri), valenţele (prin linii) şi ordinea legăturile în moleculă (conform principiilor fundamentale ale teorii lui B.). Nu se va vorbi nimic despre structura spaţială şi nimic despre dinamica moleculei (anticipată de altfel de B.)). Ideea reprezentării tridimensionale a moleculelor aparţine lui Kekulé — dar concretizarea ei se face în 1874, cînd apare primul model chimic tridimensional — modelul tetraedric al atomului de carbon (Le Bel şi van't Hoff). Elaborarea lui n-a fost spontană, ci a urmat o cale dialectică, în sensul că a căutat să explice descoperirea dedublării acidului tartric racemic în cei doi componenţi optic activi: dextro şi levo (Pasteur — 1848). O concluzie imediată a acestei dedublări, a fost aceea că moleculele au o structură tridimensională, spaţială. Modelul tetraedric a venit tocmai ca o consecinţă a acestei concluzii şi de atunci — citînd din nou pe J. D. Bernal — „chimia organică de structură tridimensională a devenit o ramură a geometrei aplicate şi au dovenit posibile analiza şi sinteza unor compuşi deosebit de complicaţi"). Concluzia lui J. D. B. a fost confirmată în mod strălucit prin atribuirea premiului Nobel pentru chimie în 1965 profesorului Robert Burns Woodward — de la universitatea Harvard — pentru sinteza clorofilelor (1961)).

C Consideraţii asupra noţiunii de model; clasificarea modelelor.

Conţinutul noţiunii de model este o problemă disputată la ora actuală, în sensul delimitării ei; unii propun o extindere a noţiunii, pe cînd alţii propun, dimpotrivă, o restrîngere a ei. Fără a intra în aceste desbateri, trebuiesc făcute de la început anumite precizări, vizînd fundamentul noţiunii de model. Este vorba despre simbol şi model — două noţiuni abstracte care însă nu trebuiesc să fie confundate. „Simbolurile apar pe baza unor abstracţii, fiind semnele lor şi reţinînd toată valoarea lor cognitivă". În scrierea ecuaţiilor chimice, a formulelor, se folosesc anumite semne şi simboluri ca +, −, =, ≡, Au, Ca, etc. Acestea sînt nişte simboluri şi nişte semne, care au o anumită semnificaţie, fără însă *a imita* realitatea. Dacă scrim formula Na^+Cl^-, înţelegem imediat că este vorba despre un ion pozitiv de sodiu ce se atrage cu un ion negativ de clor şi nici decum că între ei apare o legătură care să aibă vreo asemănare cu notaţiile + sau −. Psihologul şi pedagogul marxist francez Henri Wallon (1879—1962) stabileşte că „simbolul şi semnul sînt un instrument de semnificare ... Ele opun semnificant şi semnificat, dar într-o manieră destul de diferită. În sensul strict al cuvîntului, simbolul este un obiect, dar unul care înlocuieşte alte realităţi". Notaţia C—C este o codificare, o simbolizare a unei simple legături intercarbonice; ea nu ne permite să tragem vreo concluzie asupra *modului* în care se *prezintă realitatea*. Între doi atomi de carboni se stabileşte o legătură, dar în nici un caz ceva care să se ase-

mene cu o linie simplă sau dublă, triplă, etc. Cel care scrie însă o asemenea reprezentare simbolică, ştie de fapt ce se ascunde în spatele ei. Simbolul „substituie propria sa realitate celei pe care o reprezintă. El devine o semnificaţie". Desigur că micul segment de dreaptă (—) şi-a pierdut, ca să spunem aşa, „personalitatea" sa geometrică, devenind semnificaţia unei legături interatomice, fără însă a ne creia sau a ne sugera cumva vreo *imagine* asupra ei.

Cu totul altfel stau lucrurile în cazul modelelor. Ele caută să imite cît mai fidel sistemul sau obiectul de studiu. Dar sistemul este complex, cuprinzînd un amestec de componente esenţiale şi neesenţiale. Din multitudinea acestora, trebuiesc extrase- — pentru modelare, *deci pentru concretizarea caracteristicului* — numai trăsăturile esenţiale. În aceasta constă tocmai „secretul" unui model reuşit, în discernămîntul cu care s-a făcut selectarea manifestărilor globale ale sistemului, modelîndu-se numai ceea ce este cu adevărat caracteristic, esenţial.

Între model şi fenomen nu există o identitate, ci doar o asemănare; dacă modelul s-ar suprapune originalului, atunci înseamnă că ar fi o contopire ce-ar conduce în fond la o repetare a fenomenului în sine, iar esenţialul şi neesenţialul ar apare în aceeaşi contopire indescifrabilă.

H. Wallon, folosind termenul de „simulacru", arată că acesta „realizează reprezentarea în măsura în care ... se formează alături de obiect sau cel mai adesea în participare cu el. Iar prin aceasta, el se situează mai departe de reprezentarea obiectivă. El reprezintă actul care poate conduce la ea". Din acest citat să reţinem ideea că modelul „reprezintă actul care poate conduce" la realitatea obiectivă, la fenomen. Conchidem deci că un model poate servi la înţelegerea proprietăţilor unui sistem, dar în nici un caz nu poate să-şi asume rolul de a elucida complet această cunoaştere.

Făcînd precizările teoretice asupra diferenţei dintre simbol — model, să vedem un exemplu concret:

— formula brută a unei substanţe are caracter unilateral şi anume de simbol;

— formula structurală tridimensională are un dublu caracter:

— de simbol

— de model

Clasificarea modelelor — temă oarecum controversată — se face în două categorii:

a) modele ideale (teoretice) — ce ocupă loc intermediar între teorie şi experiment; servesc la verificarea unor ipoteze (ex. modelul atomic, modelul nuclear).

b) modele materiale — se folosesc în tehnică la rezolvarea unor probleme irezolvabile analitic sau soluţionarea lor necesită un aparat de calcul prea laborios.

D. *Modelarea în chime.*

În chimie modelarea a pătruns destul de rapid, permiţînd studierea şi descifrarea unor fenomene sau sisteme. Modelarea chimică este o îmbinare de elemente convenţionale (semne, simboluri) cu elemente neconvenţionale (formule de structură, alcătuite pe baza unor elemente din geometria euclidiană). Această îmbinare de convenţional şi neconvenţional nu are drept consecinţă reducerea modelului la o schemă pur convenţională şi formală. „Îmbinarea elem entelor neconvenţionale şi a celor convenţional

reprezintă esența modelării chimice care are drept scop o reflectare mai adecvată pe plan intuitiv a structurii și a proprietăților diferiților compuși".

În chimie și în special în chimia organică, există două categorii de modele. Această clasificare se face ținîndu-se seama de cea mai importantă caracteristică a unui model: „raportul dintre nivelul structural-dinamic al organizării sale și nivelul obiectivului modelat". Conform acestui criteriu, distingem:

— modelare la nivelul macrosistemelor;

— modelare la nivelul chimic.

Indiferent de tipul de model, condiția fundamentală a eficacității sale este ca „să conțină cel puțin anumite calități esențiale ale moleculei modelate. Altminteri el este inutil".

a) *modelarea la nivelul macrosistemelor.*

Cea mai răspîndită formă de modelare este reprezentarea plană sau spațială a moleculelor.

Modele spațiale ale unor molecule, în care atomii au fost înlocuiți cu sfere proporționale între ele după ponderea atomică a elementelor pe care le reprezentau, iar legăturile interatomice s-au făcut prin arcuri cu anumite constante fizice — au permis stabilirea unor frecvențe vibratorii proprii moleculare greu de determinat prin calcul. Tot prin modelare tridimensională s-au putut stabili asemănările și deosebirile sterice existente între morfină (produs natural) și dolantin (produs sintetic).

Mișcarea browniană este o modelare naturală a agitației termice a moleculelor, iar sistemele coloidale sînt modele naturale a stării fizice a materiei vii.

Modelele tridimensionale sînt construite față de subiect la scara $1 : 1{,}5-2.10^8$.

Tot modelare chimică la nivel de macrosistem este modelarea cu ajutorul formulelor, care, însă, spre deosebire de precedenta, este o modelare plană. Desigur, cînd spun aceasta, mă gîndesc la acele formule care arată și tipul de legătură interatomică. Deficiența unui asemenea model este planitatea și lipsa dinamicii interne — lipsă asupra căreia voi reveni puțin mai jos. Acest tip de modelare a condus însă la concluzia că o singură formulă atribuită unei molecule, chiar dacă oferă avantajul simplității și clarității, totuși nu poate reda unele laturi dinamice; cu alte cuvinte nu poate reflecta complet realitatea, ci cel mult o situație a sistemului la un moment dat. De la această deficiență, ridicată prima dată în chimie de către formularea benzenului, s-a trecut la elaborarea teoriei mezomeriei (C. K. Ingold), care coroborată cu mecanica cuantică a condus la teoria rezonanței (L. Pauling). Notînd cu ψ funcția de undă totală a unui sistem și cu φ funcțiile ce corespund unei anumite combinări a electronilor de valență, se stabilește relația

$$\psi = C_1\varphi_1 + C_2\varphi_2 + C_3\varphi_3 + \ldots + C_n\varphi_n \qquad C_1 \text{ și } C_n - \text{constante}$$

Pentru un sistem mai complicat, aparatul matematic s-a dovedit foarte greoi sau pur și simplu inexistent. De aceea, s-a trecut la reprezentări grafice, valorile lui φ — soluții ale ecuației lui Schrödinger — au fost modelate sub forma unor formule — probabilitate, pe care molecula o poate avea la un moment dat în dinamica ei. Numai din suprapunerea acestor scheme se poate deduce starea reală a moleculei, care va fi cu atît mai bine reprezentată, cu cît numărul modelelor va fi mai mare.,,... sta

rea normală, reală a moleculei nu poate fi reprezentată de niciuna dintre structurile diferite probabile luate izolat, ci poate fi reprezentată printr-o combinație a acestor structuri".

Din acest citat rezidă o idee importantă: modelele sînt componente ale unei teorii, puterea lor reflectorie fiind limitată. Cum s-au făcut în această direcție greșeli chiar de către autori, care au confundat la un moment dat planul cognitiv cu cel ontic, alunecînd în interpretări idealiste, precizarea făcută este extrem de necesară.

Metoda modelării prin teoria rezonanței — care ține seama și de dinamica internă a moleculei, lucru neconsiderat încă pînă la ea — „a lărgit și aprofundat reprezentările noastre despre particulele chimice, a reușit să dezvăluie o serie întreagă de laturi, relații esențiale ale atomilor, ionilor, etc., lucru pe care chimia chimică a fost în stare să-l facă". Se constată, deci, o modernizare a modelului — modelul clasic al moleculei fiind revizuit și creindu-se astfel modelul modern; „... motorul dezvoltării modelelor chimice nu-l constituie anumite forțe misterioase ascunse înăuntrul acestor modele, ci progresul în studiul obiectului modelat".

b) *modelarea la nivel chimic.*

Asemenea modelări se fac în studierea interdependenței dintre structură și proprietățile fizico-chimice, lucru irealizabil prin macromodele. În acest scop, se alege un sistem sau o moleculă mai simplă decît subiectul. Un astfel de model a fost experiența lui S. Miller de reproducere a atmosferei inițiale ipotetice a planetei noastre. Fibra sintetică este o modelare a fibrei naturale. În această situație însă, ea încetează să mai joace rolul de model, devenind un produs de utilitate practică.

Modelarea la nivelul chimic poate prezenta și unele inconveniente cum ar fi acela că un fragment molecular nu poate fi asimilat cu întregul.

În orice caz, modelarea aceasta își are meritele-i de necontestat. „Cercetînd o substanță necunoscută, chimistul construiește pe baza datelor experimentale, modelul structural ipotetic al moleculei respective". Afirmația este confirmată de sintezele Woodward. Sinteza reușind pe baza modelului conceput, nu face altceva decît să-i confirme valabilitatea.

E. *Aplicații ale modelării în chimie.*

a) *aplicații în științele chimice.*

Am văzut ceva mai înainte rezultatele valoroase obținute pe calea modelării chimice; dintre cele mai noi, vom enumera doar cîteva:

— în biologie: „Aplicînd datele experimentale obținute în studiul reacțiilor chimice model la o serie de reacții în metabolismul celular... chimia a determinat apariția unei noi discipline în biologie, biologia moleculară...".

— în domeniul fitochimiei: „se manifestă tot mai pronunțat tendința ca, pornind de la produși primari naturali din planete... să se realizeze analogi structurali, capabili să corecteze neajunsurile substanțelor primare".

— în medicină „ o atenție deosebită se acordă studiului structurii și proprietăților *produșilor naturali* pentru obținerea analogilor sintetici cu proprietăți terapeutice".

b) *aplicații în metodica predării chimiei.*

Introducerea modelării în general ca metodă de predare la unele discipline constituie obiectivul unor importante studii de psihologie pedagogică efectuate în țara noastră). Flexibilitatea și creativitatea gîndirii — calități esențiale ale acesteia, care asigură creativitatea gîndirii, caracteristică a omului de știință contemporan — sînt asigurate și de cibernetică, ce impune folosirea chiar în școală a modelului și modelizării. În *școală, la ora actuală*, prin model nu se înțelege o planșă sau o schemă, ci efectuarea de analogii cu realul și comparație între modele. Compararea diferitelor modele — elevii descoperind elemente noi de la o trecere la alta — și ridicarea abstractizării pe trepte superioare, asigură o intensitate mărită a gîndirii și o activizare a ei. Modelul este însă o imitație stilizată, simplificată, purificată de elemente neesențiale; el face la un moment dat, cînd elevul întîlnește „pe viu" fenomenul a cărei modelare a studiat-o, să numai deslușească esențialul de neeseanțial. De aceea, s-a aplicat o metodă de cercetare, originală, pornindu-se de la fenomen spre model. În felul acesta „reușita în verificare a cunoștințelor a crescut semnificativ cînd elevii au fost conduși — pornind de la obiecte și procese tehnice — să abstractizeze în mod independent".

Predarea chimiei prin modelizare a constituit obiectul de cercetare la un liceu din București. Scopul studiului: apropierea logicii didactice de logică științifică. Predarea metalelor s-a făcut pe baza modelelor atomice, acest criteriu fiind aplicat la predarea metalelor din toate grupele sistemului periodic. Se precizează că scopul final al studiului a fost „formarea unor modele mintale, generalizatoare, cu ajutorul cărora se poate, în orice, împrejurare, să treacă la determinarea științifică a locului și însușirilor diferitelor elemente în sistemul periodic". Rezultatele au arătat că din 24 de elevi ai clasei, 22 au răspuns corect asupra caracterelor rubidiului, iar 2 au dat răspunsuri greșite. La clasa — martor, unde predarea s-a făcut conform programei în vigoare, la aceeași întrebare, răspunsurile au fost astfel: din 24 de elevi, 9 au dat răspunsuri corect 5 au greșit, iar 10 s-au abținut de la răspuns.

F *Concluzii finale.*

— în predarea chimiei, modelarea are un rol important, însă nu trebuie folosită ca unică metodă de predare;

— în chimie, modelul joacă un rol cognitiv, nu numai intuitiv, impulsionînd gîndirea exprimentatorului și conducîndu-l spre noi căi de cercetare și descoperire.

— modelele pot confirma sau infirma anumite ipoteze, sugerînd altele noi; cercetarea teoretică și experimentală este astfel stimulată.

— modelarea chimică și modelele chimice trebuiesc matematizate, pentru o cît mai mare eficiență. „Etapa actuală — a dezvoltării chimiei se caracterizează, pe deoparte, prin crearea unor modele ale interacțiunilor intramoleculare, iar pe de altă parte a modelelor proceselor chimice... Aceasta este imposibil de realizat fără folosirea reprezentărilor cuantice și a aparatului lor matematic. De aceea, este de dorit ca metodele exacte ale matematicii să pătrundă cît mai repede și mai temeinic în domeniul complex al modelării fenomenelor chimice".

FUNCȚIA METODICĂ A MODELULUI

Prof. *CHELU IUNIAN* — Giurgiu

I. În ultimii ani a apărut în literatura noastră o serie de lucrări în care se studiază funcția metodologică a modelului, valențele acestuia în diferite sectoare ale cercetării științifice și perspectivele lui.

Metoda modelării are un trecut destul de bogat, trecut în care și-a dovedit capacitatea de exploatare a necunoscutului și în care și-a cîștigat dreptul de a fi considerată metodă clasică în arsenalul metodologic al științei.

Reactualizarea discuțiilor asupra ei se datorește faptului că revoluția tehnico-științifică contemporană o utilizează într-o măsură mai însemnată și pe planuri calitativ diferite, de cît au făcut-o înaintașii noștri, în filologie, biologie, logică, chimie, cibernetică ș.a.

Aceste nevoi au determinat acțiunea de reevaluare a potențialului gnoseologic de care dispune această metodă; acțiune care constituie tocmai obiectul cercetărilor de care aminteam.

În cele ce urmează intenționez să arăt că rezultatele investigațiilor actuale asupra modelului, demonstrează faptul că acestinstrument poate servi nu numai interesele cercetătorului ci și pe cele ale profesorului și că introducerea explicită a metodei modelării în predare constituie un pas hotărîtor spre ceea ce noi numim astăzi modernizarea învățămîntului.

Pentru a justifica această afirmație trebuie să expun, mai întîi, pe scurt, principalele caracteristici ale modelului ca instrument de cunoaștere.

1. Modelul este un sistem de obiecte, materiale sau abstracte, pus într-o corespondență determinată cu un alt sistem dat anterior. — El este o copie a realității care rezultă din încercarea de a surprinde esența originalului.

Nevoia de a modela realitatea este determinată de imposibilitatea de a o aborda sub forma care ni se prezintă, dată fiind complexitatea ei inepuizabilă.

Acesta este motivul pentru care în loc să se studieze realitatea care își disimulează esența în spatele mulțimii de note cu care ni se înfățișează se înlocuiește cu o copie a acesteia, copie construită în așa fel încît să preia sub formă implicită esența fenomenului dar care să aibă mult mai puține note care ar incomoda pe cel care o cercetează.

După asta, cercetării teoretice sau experimentele, nu-i mai rămîne de cît să extragă esența din materialul mai transparent al modelului de cît al originalului.

Concluziile rezultate din această cercetare au însă o sferă mai mică de valabilitate tocmai datorită neidentității modelului cu originalul. Această lipsă este compensată de un alt model mai complex, mai perfecționat, care acoperă o parte mai mare din mulțimea de proprietăți a fenomenului dat, construit pe baza concluziilor la care s-a ajuns din confruntarea modelului anterior cu realitatea. La rîndul lui acesta va ceda locul altuia care va aproxima și mai bine realitatea.

Rezultatul este apariția unui lanț de modele care se înlocuiesc unele pe celelalte, lanț în cadrul căruia se păstrează, se transmite și se simplifică informația și prin care ne apropiem asimptotic de realitate.

Procesul de cunoaștere prin modele are caracter istoric și este dirijat de legile generale ale dialecticii.

Într-adevăr, informația experimentală acumulată treptat pe măsura perfecționării aparaturii de investigație și mijloacele de tratare matematică a acestuia constituie conținutul acestui proces iar modelul forma pe care acest conținut o ia într-o anumită etapă.

Între model și informație există aceiași interacție ca între conținut și formă în general. Cînd informația depășește capacitatea modelului de a o interpreta atunci își face apariția conflictul dintre formă care a devenit îngustă și conținutul care se cere explicat. Acesta este momentul în care se produce saltul calitativ spre un alt model care să îndeplinească noile condiții. La rîndul lui modelul nou va stimula cercetarea pentrucă pe deoparte el aruncă o lumină nouă asupra realității studiate și pentrucă, pe de altă parte, din studiul lui rezultă concluzii care se cer verificate și care stimulează procesul de acumulare a informației.

2). O altă problemă a teoriei acestei metode este problema tipurilor de modele.

Istoria acestei metode de cercetare a arătat că modelele se construiesc fie prin idealizare, fie prin analogie, fie prin similitudine.

Modelul ideal nu are o existență concretă, el este un sistem de obiecte abstracte utilizat numai în teorie. Evoluția lui poate fi descrisă matematic tocmai datorită acestei idealizări.

Modelul analogic este un sistem de obiecte materiale deosebite ca natură fizică sau ca formă geometrică de original, dar care are aceleași proprietăți cu ale lui.

Modelul similar reproduce originalul și ca formă geometrică și ca natură fizică însă toate dimensiunile la o altă scară. El rezultă din extinderea asemănării geometrice asupra altor mărimi cinematice, dinamice, sau de altă natură. — Acest model este numit deobicei machetă. — El este utilizat de constructorii de avioane, baraje, săli de concerte, vapoare ș.a.

Acest model este realizat în scopul aducerii obiectului dat la dimensiuni compatibile cu ale laboratorului în care i se studiază comportarea.

3). După descrierea sumară a celor trei tipuri de modele se poate aborda problema domeniului lor de aplicabilitate.

În acest sens Engels este deschizător de drumuri.

El a plecat de la faptul că mișcarea sub aspect filosofic nu poate constitui obiect de cercetare al unei științe pentrucă mulțimea de proprietăți ale acesteia nu poate fi cuprinsă dintr-odată într-un proces de cercetare și a observat că fiecare disciplină își alege numai o anumită formă de mișcare care are un număr mai mic de note în raport cu cea reală, însă destul de mare pentru ca să poată fi studiată nemijlocit.

Tot el a elucidat și natura operației de extracție a unei anumite forme de mișcare din complexitatea mișcării reale. Această operație nu este alta de cît idealizarea.

Prin idealizarea profundă a mișcării reale s-au ajuns la simpla deplasare, adică la mișcarea mecanică și tot prin idealizare s-a ajuns la toate celelalte forme studiate de diferite științe.

Așa dar, ceea ce Engels denumește formă de mișcare, nu este altceva de cît un model ideal al mișcării reale.

Această descoperire a stabilit nivelul cel mai înalt pînă la care poate lucra această metodă și prin aceasta importanța de care se bucură ea în ansamblul metodelor de cunoaștere.

Tot pe această cale s-a ajuns la clasificarea formelor de mișcare în ordinea complexității crescînde a acestor modele și noțiunea de model de disciplină în cadrul unei științe.

Într-adevăr, geometria spre exemplu, este știința care se ocupă de un model foarte idealizat al realității. Ea și-a ales numai proprietățile spațiale ale obiectelor lumii materiale și a neglijat pe celelalte.

În cadrul acestei științe au apărut cu timpul diferite modele de disciplină. Abia după ce s-a stabilit faptul că fiecare geometrie este un model de disciplină s-a putut lămuri raportul dintre ele. Ele sînt considerate astăzi modele cu diferite grade de generalitate care studiază realitatea sub același aspect, aspectul geometric.

În aceiași situație se află și modelele de disciplină ale mecanicii. Modelul Galilei—Newton fondat pe noțiunea de sistem inerțial și pe cea de forță este un model mai idealizat de cît modelul lui Einstein.

În cadrul fiecărei științe se construiesc modele de disciplină bazate pe un grup de axiome, principii, sau teze, cu scopul de a elucida proprietățile formei de mișcare respective, dar operațiunea de modelare prin idealizare nu se oprește la acest nivel, ci se continuă pe planuri diferite și în sfera unei discipline.

Așa bunăoară interacția mecanică poate fi idealizată pe diferite trepte și se ajunge la tratarea cinematică sau dinamică a mișcării, care pot fi considerate submodele de disciplină.

Această metodă poate să opereze și asupra structurii obiectelor studiate de știința respectivă sau asupra proceselor în care se află aceste obiecte.

În acest mod au apărut modelele de structură sau modelele de proces.

Ca exemple din prima categorie pot fi date, la întîmplare, lichidul incompresibil, gazul ideal, gazul Van der Waals, atomul lui Bohr ș.a. Modele de proces sînt, curgerea laminară, transformarea echilibrată a unui gaz, alunecarea fără frecare a unui corp pe un plan înclinat, curentul alternativ sinusoidal ș.a.

Această trecere în revistă a principalelor domenii în care operează metoda modelării, precum și a tipurilor de modele privite în evoluția lor dialectică este necesară înțelegerii depline a rolului pe care l-ar putea avea această metodă în procesul de însușire a bazelor științelor, pentrucă din importanța ei pentru cercetarea științifică rezultă necesitatea de a o folosi în predare.

Dacă modelarea este un instrument atît de necesar și de eficace în mîna cercetătorului și a pedagogului, atunci formarea deprinderii de a o utiliza încă din timpuriu, este o chestiune care nu mai necesită discuții.

II. Metoda modelării, privită sub aspect metodic poate îndeplini funcția de coordonator al procesului de predare și însușire pe toate planurile, începînd cu programa și sfîrșind cu limbajul științei respective.

Într-adevăr, istoria arată că cercetarea fenomenelor naturii a trecut, permanent și în toate sectoarele, de la un model mai simplu la altul mai complex, care aproximează mai bine realitatea, și că deci inferența de la un model la altul este o manifestare a logicii interne a procesului de cunoaștere.

De aici rezultă necesitatea de a asigura procesului de învățare aceiași dinamică.

Acest criteriu este deja aplicat pe anumite porțiuni din materie.

Toată lumea este astăzi de acord să se studieze învelișul electronic al atomului pe modelele lui de structură; nu se mai poate concepe un alt

mod de a conduce pe elev către rezultatele actuale din acest sector de cercetare.

Dacă am face acest lucru în fiecare știință atunci principiul formulat mai sus ar fi aplicat cu consecvență.

În cele ce urmează am să arăt modul în care ar trebui organizată programa în conformitate cu acest principiu. Să începem cu Mecanica. Această știință poate fi studiată pe modele de structură.

Ceea ce numim deobicei corp nu este o realitate ci un model al acesteia. Corpul este un obiect idealizat prin neglijarea naturii și a conținutului său concret, în scopul obținerii unei singure trăsături caracteristice, capacitatea de a se deplasa spațio-temporal. Pentru a preciza limitele acestui model trebuie observat că orice corp se deplasează, dar nu orice deplasare spațio-temporală respectă legitățile mecanice. Aceste legități sînt valabile numai pentru macro-obiecte, dar își pierd valabilitatea în fața microparticulelor.

Așa dar corpul este modelul fundamental al mecanicii.

Studierea legilor lui de mișcare trebuie făcută pe submodele.

Trebuie să începem cu mecanica punctului material și să continuăm cu mecanica sistemului de puncte materiale după ce am epuizat pe prima, apoi mecanica solidului rigid, a solidului diformabil, a fluidului.

Fiecare dintre aceste submodele trebuiesc trecute prin toate modelele de disciplină. Așa bunăoară mecanica punctului material să înceapă cu cinematica și să continue cu dinamica ; statica fiind un caz particular al acesteia.

În același mod să fie tratat fiecare model pînă la epuizarea problemelor acestuia.

O altă cerință a acestei metodici este studierea mișcării unui model de structură pe modele de proces, în cazul acesta, pe modele de mișcare.

Să luăm un exemplu ; modelul fluidului ideal, obținut prin trecerea la limită a proprietăților fluidului cînd viscozitatea, frecările cu pereții și compresiunile tind către zero, poate fi tratat întîi cinematic, în diferite regimuri de curgere, apoi dinamic și în sfîrșit, static, numai pe cale teoretică.

Studiul ne duce la stabilirea legilor lui Bernoulli Poisson și Pascal pe cale deductivă plecînd de la principiul conservării energiei mecanice a fluidului.

După epuizarea acestor probleme se poate trece la studiul curgerii fluidului vîscos pe modele de proces. Mai întîi curgerea laminară în regim staționar apoi curgerea turbulentă. Pentru acest model de fluid sînt valabile alte legi ; legea lui Ohm pentru porțiunea de circuit hidraulic, descoperită de Poiseuille.

Am dat acest exemplu pentru a arăta că apare de multe ori ocazia stabilirii analogiei între diferite modele. Așa bunăoară analogia dintre circuitul hidraulic și cel electric poate fi scoasă în evidență la studiul electrocineticei circuitului simplu.

Analogia dintre mișcarea de translație și cea de rotație în jurul unei axe, a solidului rigid, este chiar o necesitate a studiului acestui model. Aceste două mișcări sînt modele ideale și în același timp analogic, de proces.

În încheiere aș vrea să arăt că învățarea mecanicii pe modele de structură, de disciplină și de proces ne oferă un prilej neobișnuit de a coordona superior cunoștințele, de a stabili raporturi între ele, de a le generaliza, de a măsura limitele de valabilitate ale legilor stabilite.

Trecînd la studiul unui alt nivel al materiei, nivelul molecular, metodica modelării joacă acelaşi rol.

Într-adevăr, proprietăţile gazelor pot fi studiate mai întîi pe modelul ideal şi apoi pe modelul Van der Waals.

Trecerea de la primul model de gaz la celălalt este un prilej foarte bun pentru deprinderea de a gîndi pe modele.

Aceste modele mecanice de gaz nu pot reflecta perfect realitatea tocmai pentrucă microparticulelor le sînt aplicate legităţile mecanice.

Proprietăţile moleculare ale lichidelor pot fi studiate plecînd de la observaţia că legea Van der Waals nu-şi mai păstrează valabilitatea, de cît foarte relativ, cînd o aplicăm la lichide. Asta arată că lichidul poate fi studiat pe modelul de gaz Van der Waals însă foarte aproximativ. Un alt model, tot mecanic, care explică o parte din proprietatea substanţei aflată în stare lichidă, este modelul lichidului aflat într-o membrană elastică.

Proprietăţile stării solide se studiază tot pe modele de structură însă depăşesc limitele şcolii medii.

În acelaşi timp se poate proceda şi în electricitate, electromagnetism, optică, fizică atomică şi fizica nucleară.

Studierea întregii fizici pe modele îl pregăteşte pe elev să înţeleagă etapa istorică în care se află studiul fiecărei probleme în cadrul şcolii în raport cu cercetarea. Ştiind cît de idealizat este modelul pe care-l ai în faţă poţi să-ţi formezi o părere despre distanţa pe drumul cunoaşterii, pînă la obiectul aflat în studiu.

Ştiind cît timp s-a scurs între apariţia unui model şi a altuia poţi aprecia ritmul procesului de cunoaştere a realităţii.

Acestea sînt numai cîteva avantaje ale acestei metode de învăţare.

Introducerea explicită a metodei modelării în liceu ne oferă prilejul de a ne preciza poziţia în rezolvarea problemelor de calcul.

Multe dn probleme se referă la o realitate puternic idealizată fără ca eleveul să fie conştient de această operaţie intelectuală.

În probleme sînt idealizate mişcările, ciocnirile, transformările de energie şi obiectele tocmai pentru a le reduce pînă la limita aplicării teoriei învăţate.

De multe ori nici autorii de probleme nu precizează sensul în care a îndreptat procesul de idealizare la care se referă problema şi rezolvarea devine mai grea.

Metodica modelării cere din partea autorului o formulare clară a condiţiilor restrictive în care trebuie să opereze intelectul elevului iar din partea profesorului care-l îndrumă, o discuţie teoretică cu privire la consecinţele pe care le-ar avea asupra rezolvării, lipsa uneia dintre condiţii sau schimbarea ei într-un mod oarecare. Rezolvarea problemelor referitoare la modele idealizate ale unor structuri sau procese este un mijloc eficace de a forma la elevi deprinderea de a opera cu idealizări de diferite grade, de aceea trebuie acordată o atenţie deosebită introducerii modelului în probleme. Cred că ar fi bine să le cerem elevilor să formuleze probleme prin modelarea unei realităţi date pentru a-i obişnui cu operaţiunea de idealizare.

Metoda modelării mai poate fi folosită nu numai la rezolvarea de probleme, ci chiar în timpul explicaţiei.

De multe ori profesorul este silit să recurgă la un model analogic al fenomenului aflat în studiu, pentru a se face înţeles.

În aceste cazuri se sprijină pe cunoașterea anterioară, de către elevi, a unui proces analog celui aflat în studiu și recurge la el, îl pune alături fie mintal, fie chiar experimental. Spre exemplu, dificultatea de a înțelege întreținerea oscilațiilor cu ajutorul triodei poate fi mult micșorată dacă apelăm la modelul mecanic de autooscilator cu pendul construit de Huygens.

Compararea celor două modele poate duce la înțelegerea celui mai nou. Modelul anologic îl ajută pe elev să treacă de la fenomen la esență.

Unul dintre oscilatori formează o unitate senzorială de sine stătătoare care frînează prin notele sub care se ascunde trecerea spre esență. — Studierea aceluiași proces pe un alt model analogic care e mai puțin complicat din punct de vedere fenomenalogic îi ajută să înlăture notele neesențiale, și îl apropie repede de esență. Recurgerea la analogie este o predare cu „esență de față".

Stăpînirea rezervei de analogii de care dispune fizica clasică este adevăratul tezaur al profesorului, tezaur pe care numai experiența îl întregește; dar în afară de aceste modele analogice cunoscute, profesorul poate să apeleze și apelează chiar, atunci cînd nevoia o cere la modelul analogic de improvizație care este un produs al fanteziei și care nu are o existență de sine stătătoare ci este alcătuit numai cu scop explicativ. — Aceste modele se construiesc în focul explicației pentru a-l călăuzi pe elev către înțelegere numai atunci cînd acesta nu te-a putut urmări pe drumul normal. Ele sînt artificii de explicație care scurtează drumul spre obiect.

În această categorie de modele pot fi considerate și anumite desene, anumite plănși sau chiar aparate destinate analogiei. Modelele de improvizație pot fi deci atît ideale cît și materiale (analogice sau similare).

O altă cale de introducere a metodei modelării în procesul de învățare este algoritmizarea expunerii cunoștințelor.

Împotriva tratării dezordonate, întîmplătoare, care se observă adesea, profesorul trebuie să instaureze modele de expunere pe care să le transforme în cerințe fundamentale ale procesului de învățare.

Aceste modele trebuie să reflecte logica internă a procesului de cunoaștere și nu neapărat istoria lui.

Așa bunăoară, atunci cînd fenomenul la care se referă discuția a fost observat de elev în viață sau în condițiile de laborator ale școlii, i se poate cere să înceapă expunerea cu descrierea fenomenului, a trăsăturilor lor caracteristice, să continuie cu definirea mărimilor care reflectă evoluția lui și să încheie cu expunerea legităților care stau la baza acestuia și a relațiilor pe care le are cu alte fenomene.

Acesta este un model de algoritmizare a expunerii în astfel de cazuri. Există însă situații în care fenomenul nu se poate observa direct, fie datorită laboratorului, fie datorită neputinței de a-l reproduce în limitele unei lecții sau a altor cauze. În aceste cazuri nu li se poate cere elevilor să modeleze expunerea în sensul de mai sus, ci să-și desfășoare cunoștințele începînd cu demonstrațiile teoretice care decurg din principiile disciplinei respective și sfîrșind cu consecințele practice care rezultă din acestea. — Rezultă deci nevoia de a construi un alt model de algoritm care să servească acestei noi situații.

Dacă vom supune observației acest aspect al procesului de învățare vom reuși să-l modelăm în cea mai mare parte și să transmitem astfel elevilor forme utile în care să-și ordoneze informația. Deprinderea de a

Venit Lucr. Nr. 30 ex total

expune cunoştinţele în conformitate cu un model de algoritm poate fi formată nu numai în verificările orale ci mai ales în cele scrise.

Trebuie să formulăm astfel subiectele încît să-i prilejuim elevului o tratare pe un model anumit şi într-un limbaj bine stabilit.

În sfîrşit vreau să arăt că trebuie să punem la îndemîna elevilor anumite forme definite destul de precis din care să-şi aleagă una care se potriveşte situaţiei date, dar nu că trebuie să-i obligăm să-şi aleagă neapărat una pentru a se exprima.

Problema cu care doresc să închei este problema matematizării. Expunerea fizicii în ordinea pe care o impune metoda modelării necesită o folosire mai largă a aparatului matematic, de cît pînă acum. Dacă vom rămîne la proporţii şi ecuaţii de gradul întîi nu vom putea nici-odată să dăm o tratare completă unui model matematic din cadrul fizicii şi deci nu-i vom convinge pe elevi de specificul acestei metode de cunoaştere.

Ba mai mult, din expunerea anterioară rezultă că un model superior cere un aparat matematic superior. Asta ne obligă să folosim masiv toate cunoştinţele de matematică pe care elevii le cîştigă şi în ritmul în care le acumulează.

Introducerea aparatului matematic în fizică, în proporţii mai ridicate, va contribui la diferenţierea netă între ceea ce numim matematică şi matematizare.

Am intenţionat să arăt că utilizarea metodei modelării în procesul de învăţare de celelalte metode constituie un pas hotărîtor spre modernizare.

I.P.I. — c. 5914

43 453

Lei 3